

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Joni Leskelä

KONENÄKÖMITTAJÄRJESTEL- MÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Joni Leskelä

KONENÄKÖMITTAJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee konenäön käyttämistä tuotteiden mittaukseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa konenäköjärjestelmä tuotteiden nopeaa mittausta ja laadunvarmistusta varten. Opinnäytetyössä tehtiin mittajärjestelmä Stera Technologies Oy:lle laadunhallintatyökaluksi. Mittajärjestelmällä pyritään vähentämään tuotteiden mittaukseen kuluva aikaa. Ennen mittajärjestelmän käyttöönottoa satunnaiset tuotteet 3D-skannattiin eräkohtaisesti. Mittajärjestelmän käyttöönoton jälkeen kaikki valmistettavat tuotteet kuvataan ennen asiakkaalle toimittamista.

Opinnäytetyön toimeksianto toteutettiin rakentamalla mittauspöytä ja asentamalla siihen konenäköjärjestelmä. Konenäköjärjestelmää varten rakennettiin lisäksi laitekaappi. Toimeksannon tavoitteena oli saada tarpeeksi luotettavaa mittadataa mittajärjestelmältä, jotta tuotantoprosessia pystytään seuraamaan ja voidaan hyödyntää tilastollista prosessinohjausta laadunhallinnassa. Käyttöönnotossa on huomioitu Steran käyttämä laadunhallintajärjestelmä, joka asettaa laatuvaatimukset myös kaikille mittalaitteille.

Opinnäytetyössä käydään läpi konenäköjärjestelmien rakenne ja konenäkökameroiden toiminta. Laadunhallintajärjestelmä ja laadunhallintatyökalut, jotka ovat olleet keskeisiä toimeksannon kannalta esitellään tämän jälkeen. Lopuksi opinnäytetyössä käydään läpi mittauspöytään tehdyt ratkaisut sekä konenäköjärjestelmän käyttöönotto.

Toimeksannon tavoitteet saavutettiin. Toimeksannon lopputuloksena konenäköjärjestelmän käyttöönotto suoritettiin onnistuneesti. Mittajärjestelmästä saatava data mahdollistaa tilastollisen prosessinohjauksen käytön tuotantoprosessissa sekä muiden tarvittavien analyysien suorittamisen. Yhteen mittaukseen tosin jäi epävarmuustekijöitä, jotka pyritään korjaamaan myöhemmin.

ASIASANAT:

Konenäkö, Hahmontunnistus, Kuvantulkinta, GigabitEthernet, laadunhallinta

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production engineering

2018 | 55 pages, 10 pages in appendices

Joni Leskelä

DEPLOYMENT OF MACHINE VISION MEASURING SYSTEM

This bachelor's thesis deals with machine vision in measuring applications. The measuring system was built for Stera Technologies Oy as quality management tool. Measuring system was built to reduce the time it takes to measure products. Before the measuring system was deployed, products were measured by 3D-scanning random samples from every batch. One of the goals for this thesis was to build machine vision system for fast measuring and quality management. After the measuring system has been deployed every single product will be measured before sending them to customers.

Commission was implemented by building a measuring table and installing a machine vision system on it. A device cabinet was also built for machine vision components. Another goal of the commission was to get reliable data from the measuring system to monitor the production process and to make use of statistical process control in quality management. Stera's quality management system and its requirements for measuring devices are considered.

Thesis describes the components of machine vision systems and how machine vision cameras work. Quality management system and core quality management tools which have been essential in this commission are also introduced. At the end of the thesis solutions made for the measuring table and the deploying of the machine vision system is explained.

All the goals were met. Finally, the machine vision system was deployed successfully. The measuring data enables use of statistical process control in production process and it is reliable enough for other analyses also. One measuring point has some uncertainty in it that will be fixed in the future.

KEYWORDS:

Machine Vision, Pattern Recognition, Image Interpretation, GigabitEthernet, Quality Management

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ	10
2.1 Konenäkökamerat	11
2.1.1 2D-kamerat	12
2.1.2 3D-kamerat	13
2.2 Optiikka	16
2.3 Valonlähteet	18
2.3.1 LED	19
2.3.2 Infrapuna	19
2.3.3 Mustavalovalaisu	20
2.3.4 Laser	20
2.4 Valaistustekniikat	21
2.4.1 Bright field	22
2.4.2 Dark field	22
2.4.3 Taustavalaisu	23
2.4.4 Diffuusiovalaisu	24
2.4.5 Aksiaalinen diffuusiovalaisu	24
2.5 Kaistanpäästösuodattimet	25
3 KAMEROIDEN TIEDONSIIRTO	27
3.1 OSI-tiedonsiirtomalli	27
3.2 Ethernet	29
3.3 GigE Vision -rajapinta	30
3.4 GenICam-ohjelmointirajapinta	32
4 TUOTANTOPROSESSIN LAADUNHALLINTA	34
4.1 IATF 16949 -Laadunhallintajärjestelmä	34
4.2 Mittausjärjestelmän analysointi	35
4.3 SPC- tilastollinen prosessinohjaus	35
5 MITTAUSPÖYTÄ	37
5.1 Mekaaniset ratkaisut	38

5.2 Laitekaappi	40
5.3 Laitteiston suojaus ja muut turvatoimet	41
5.4 Mittaus	42
6 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO	43
6.1 Kamerate	43
6.1.1 Valaistus	46
6.1.2 Kalibrointi ja koordinaatistot	47
6.2 Ohjelmisto	50
6.2.1 Ohjelmiston toiminta	51
6.3 Käyttöliittymä	53
7 LOPUKSI	55
LÄHTEET	56

LIITTEET

Liite 1. Mittatulkin käyttöohjeet
Liite 2. Mittatulkin kalibrointiohjeet

KUVAT

Kuva 1. Konenäköjärjestelmä	10
Kuva 2. CCD- ja CMOS-kennojen ero (SmartInfoBlog)	12
Kuva 3. Viivakameran toiminta (Vision doctor)	13
Kuva 4: Stereokuvauskamerat ja syvyyskartta (Vision systems design)	14
Kuva 5: Time of Flight -kameran toiminta (Stemmer-Imaging)	15
Kuva 6: Yhteenveto 3D-kuvantamistekniikoista (Texas Instruments)	16
Kuva 7: Linssiyhtälö	16
Kuva 8: Polttovälin laskeminen	17
Kuva 9: Entosentrisen ja telesentrisen linssin ero (Vision-Doctor)	18
Kuva 10: Ledien spektri	19
Kuva 11: Mustavaloloisteputki	20
Kuva 12: Laserin geometrisia valokuvioita (Vision Doctor)	21
Kuva 13: Bright Field -valaisu	22
Kuva 14: Pimeäkenttävalaistus	23
Kuva 15: Taustavalaisu	23
Kuva 16: Diffuusiovalaisu (Metaphase-tech)	24
Kuva 17: Koaksiaalinen diffuusiovalaisu (Metaphase-tech)	25

Kuva 18: Kaistanpäästösuodattimia (Midwest Optical Systems, Inc)	26
Kuva 19: OSI-malli (Wikipedia)	27
Kuva 20: PoE-tehonsyöttö (Microsemi)	30
Kuva 21: Kameran konfiguroimiseen liittyvät kerrokset (GenApi)	33
Kuva 22. Mittaustulkki sekä kameroiden paikat	37
Kuva 23: Huonoksi todettu peiliratkaisu	39
Kuva 24: Laitekaapin sisältö	40
Kuva 25: Mittauspöydän mittaus	42
Kuva 26. Konenäkökamerat odottamassa asennusta suojakoteloihin	43
Kuva 27. Kameroiden IP- ja MAC-osoitteet	44
Kuva 28. Kameroiden kuljetuskerroksen asetukset	45
Kuva 29. Valojen NPN-ohjaus (Advanced Illumination)	46
Kuva 30: Koordinaattiakselien hahmotus ja referenssipisteiden teoreettiset koordinaattiarvot (sensuroitu)	47
Kuva 31: Laipan vinossa oleva kuvaustaso	49
Kuva 32. Local host -toimintaperiaate (Matrox Imaging)	50
Kuva 33. Kuvauksen toimintaperiaate (Matrox Imaging)	51
Kuva 34: Päävuokaavio	52
Kuva 35: Operaattorikäyttöliittymä jossa näkyy saadut mittatulokset ja kuvat	53

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
A/D	Analog to digital converter
BIOS	Basic Input-Output System
CCD	Charge coupled device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DA	Matrox Design assistant ohjelmisto
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DLL	Dynamic-link library
D/A	Digital to analog converter
GenICam	Generic Interface for Cameras
GigE	Gigabit Ethernet
Golden Sample	Ideaalituote
GVCP	GigE Vision Control Protocol
GVSP	GigE Vision Stream Protocol
IP	Internet Protocol
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED	Light emitting diode
LLA	Link-local Address
LLC	Logical Link Control
MAC	Media Access Control

MSA	Measuring system analysis
PoE	Power over Ethernet
PPAP	Production part approval process
RGB	Punainen, vihreä ja sininen väri
SPC	Statistical process control, tilastollinen prosessinohjaus
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol

1 JOHDANTO

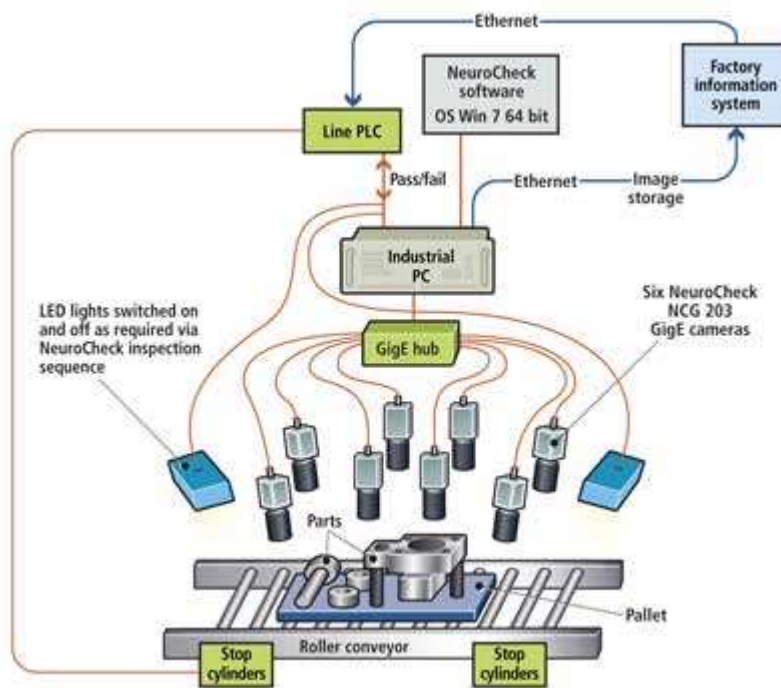
Tämä opinnäytetyö käsittelee konenäköä ja siihen perustuvan mittalaitteen käyttöönottoa. Opinnäytetyön tehdään toimeksiantona Stera Technologies Oy:lle, joka on suomalainen teollisuuskonserni. Steran ydinosamisalueita ovat mekaniikan ja elektroniikan sopimusvalmistaminen. Yrityksen historia ulottuu vuoteen 1947, jolloin Hihra Oy perustettiin. Nykyisen muotonsa konserni on saanut vuonna 2007 kun Levyosa Oy, Elektromet yhtiöt Oy, Hihra Oy, Aumec Systems Oy ja Beertekno yhdistyivät. Steran nykyisin valmistamia tuotteita ovat erilaiset laite- ja jakokaapit, kone- ja laitekokonaisuudet, elektronikka- ja johdinsarjat sekä mekaniikkavalmistus.

Opinnäytetyön aihe syntyi, kun asiakkaan laatuvaatimukset lisääntyivät. Tästä lähin jokaisen asiakkaalle toimitetun lopputuotteen pitää olla mitattu, ja sen on täytettävä tiukat toleranssivaatimukset. Aikaisemmin tuotteiden laadun on todettu olevan niin hyvä, että eräkohtaisesti suoritettava satunnainen mittaus on ollut riittävä. Nykyisin jokainen tuote on mitattava ennen asiakkaalle lähettämistä. Tämä aiheuttaa huomattavasti lisää työtä, sillä tuotantovolyymi on satoja kappaleita päivää kohden. Mittauksen suorittamiseen aikaisemmalla 3D-skannausmenetelmällä on kulunut noin 10 minuuttia yhden kappaleen osalta. Työn tavoitteena olikin tämän mittausajan lyhentäminen muutamaa sekuntiin konenäön avulla.

Toinen tavoite opinnäytetyölle on ollut laadunhallintamenetelmän käyttöönoton mahdollistaminen mittauksista saatavien tulosten perusteella. Tavoitteena on seurata tuotteiden laatua ja huomata, jos laatu lähtee poikkeamaan toleranssialueiden ääripäihin. Kenttäväylää hyväksikäyttäen konenäkökameroilta saatava data on mahdollista siirtää verkkokovalevylle analysointia ja arkistointia varten.

2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ

Konenäöllä tarkoitetaan tietokonenäköä, jonka sovellusalue on teollisuudessa. Konenäkö voidaan määritellä myös usealla muullakin tavalla, mutta yleistä kaikille niillä on se, että konenäöstä puhuttaessa tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kuuluu yksinkertaisimmillaan kamera ja tietokone, joka tekee päätökset kameralta saatavan kuvan perusteella. Usein järjestelmään liitetään ohjelmoitavia logiikoita ohjausten toteuttamista varten. (Kuva 1.) Nykyisin on olemassa myös älykamaroita, joissa tietokone on integroitu kameraan, jolloin erilliselle tietokoneelle ei ole tarvetta. (Fermum 2018, Vision sensors & intelligent cameras)



Kuva 1. Konenäköjärjestelmä

Konenäköä sovelletaan laajasti teollisuudessa automaation yhteydessä. Konenäkö mahdollistaa nopean ja luotettavan mittauksen. Konenäön keskeisiä sovelluksia ovat erilaiset mittaukset, ohjaussovellukset, paikoitukset sekä laadunvarmistus. Konenäön historia alkaa 1900-luvun alkupuolelta, mutta teollisia sovelluksia alkoi esiintyä vasta 1980-luvulla. Tämän jälkeen konenäkö sovellusten määrä alkoi lisääntyä, kun tietokoneet ja kamerat

kehittyivät yhä paremmiksi. Alan kehitykseen ovat myös suuresti vaikuttaneet väyläteknikoiden kehitys sekä kuvankäsittelysovellusten algoritmien parantuminen. (Wilson 2013, 13)

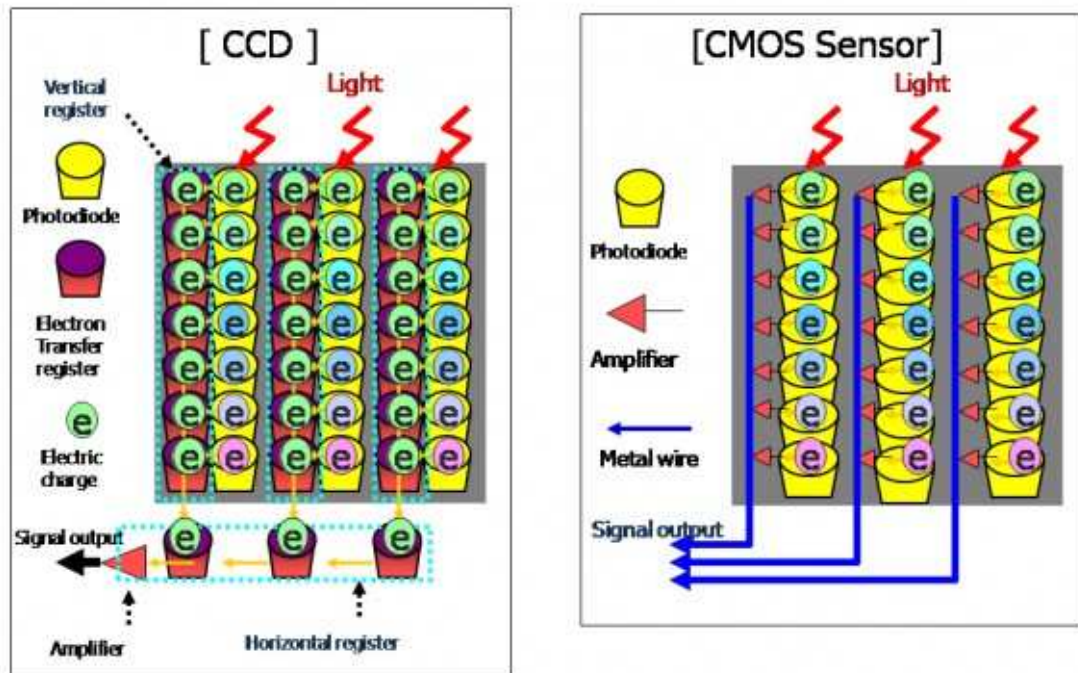
Konenäön historiassa tärkeimpiä tapahtumia ovat olleet CCD- ja CMOS-kennojen kehitys, jotka ovat vielä tänä päivänäkin käytössä konenäkökamaroissa. Toinen tärkeä asia on valaistuksen kehittyminen. LED-valotekniikka on mahdollistanut tehokkaan valaistuksen vähäisellä virran kulutuksella sekä eri aallonpituuksilla. (Wilson 2013, 8-10.)

2.1 Konenäkökamerat

Konenäkökamerat voidaan jakaa useaan erilaiseen luokkaan. Tärkeimmät luokat näistä ovat kuitenkin 2D- ja 3D-kamerat. Konenäkökamerat ovat tyypillisesti resoluutioltaan muutaman megapikselin luokkaa. Tämä johtuu siitä, että ne on suunniteltu teolliseen käyttöön ja kameran ottamat kuvat on analysoitava. Kuvattaessa nopeita prosesseja kameran pitää kyetä ottamaan satoja kuvia sekunnissa. Tämä aiheuttaa rajoituksia tietokoneiden laskentateholle sekä käytettävälle väyläteknikalle. Mikäli konenäköjärjestelmä koostuu useista kameroista, tarvittava tiedonsiirtonopeus kasvaa todella suureksi ja yleisimmät kenttäväylät eivät kykene siirtämään tarvittavaa määrää informaatiota tarpeeksi nopeasti ja analysoimaan sitä. Toinen syy on siinä, että suuriresoluutioisten kameroiden pikselit ovat hyvin pieniä, mikä vaikeuttaa pikseleiden valotusta sekä lisää kohinaa. (Fermum 2018, Resolution of Sensors)

Konenäkökameroiden tärkein osa on kuvaussensori. Kuvaussensori on yleensä tyypiltään joko CMOS- tai CCD-kenno.

CCD-kennon etuina ovat parempi herkkyys ja alhaisempi kohina CMOS-kennoon verrattuna. Muita etuja ovat homogeenisemmat kuvat sekä vähäisempi viallisten pikseleiden määrä. Kennon huonoja puolia ovat korkeampi energian kulutus, monimutkaisempi kameran rakenne, sekä hitaampi kuvan muodostaminen, koska kennossa on vain yksi A/D-muunnin. (Fermum 2018, CCD-Sensors) Kennon toiminta tapahtuu niin, että valo saa aikaiseksi sähkövarauksen kennon pikseliin. Tämän jälkeen varausta siirretään siirtorekistereitä pitkin A/D-muuntimelle pikseli pikseliltä. (Kuva 2.) Tästä syystä johtuu CCD-kennon hitaus. (Stemmer-Imaging 2018, CCD sensor types)

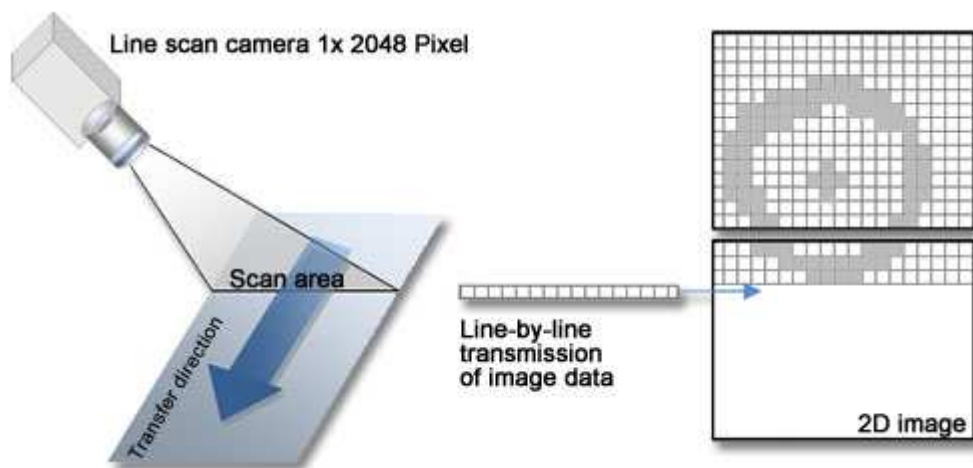


Kuva 2. CCD- ja CMOS-kennojen ero (SmartInfoBlog)

CMOS-kennoa pidettiin pitkään huonona, koska kuvat olivat sumeita, pikselit viallisia sekä ne reagoivat huonosti valaistukseen. Nykyisin teknologian kehitys on saanut CMOS-kennot kilpailemaan CCD-kennojen kanssa. CMOS-kennojen etuina on muun muassa alhainen virrankulutus, pieni koko, suuri kehystaajuus sekä alhainen hinta. Tulevaisuudessa yhä useampi kameran sensori tulee olemaan CMOS-tyyppinen. (Canon-Europe 2018) CMOS-kennoissa jokainen pikseli on varustettu omalla A/D-muuntimella, jossa varaus muutetaan heti digitaaliseen muotoon.

2.1.1 2D-kamerat

2D-kamerat ovat nimensä mukaisesti kameroita, jotka kykenevät luomaan 2D-kuvaa. Yleisimmät 2D-kamerat ovat matriisi- ja viivakamerat. Viivakameroissa matriisin rivien määrä on yksi. Kuvaamalla useita rivejä saadaan aikaiseksi matriisikuva rivi kerrallaan. (Kuva 3.) Viivakameraa käytetäänkin usein jatkuvien prosessien kuvaamiseen, jossa kuvattavaa kohdetta kuvataan koko ajan.



Kuva 3. Viivakameran toiminta (Vision doctor)

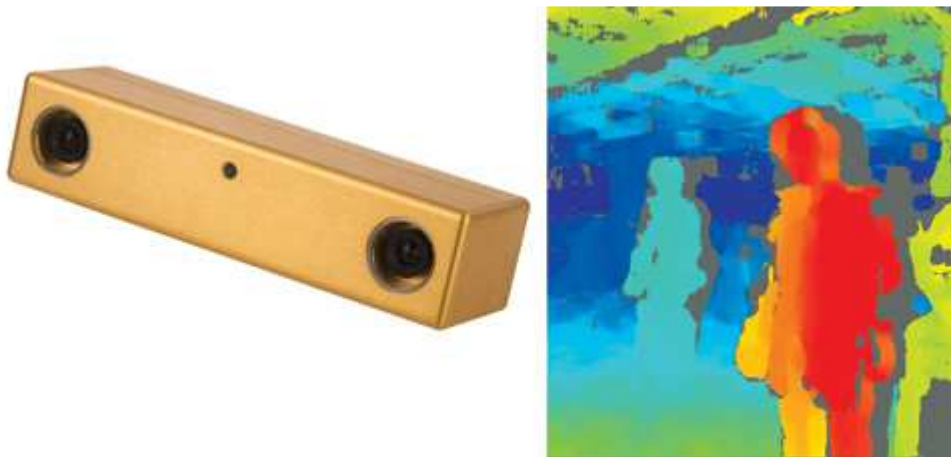
Kameran toiminta perustuu pikseleiden valotukseen. Jokainen pikseli saa oman valotusarvonsa. Intensiteettitieto kuvataan yleensä 8 bitillä, tällöin pikselin valotusarvo saa arvoja väliltä 0-255. Värikameroissa on yleensä 24 bittiä/pikseli, 8 bittiä, jokaista RGB-väriä kohden. Värikamerat kykenevätkin esittämään ainakin yli 16 miljoonaa eri väriä. CMOS- ja CCD-kennot näkevät vaan harmaasävykuvan. Värit kuvaan saadaan eri tavoin, joko jokainen pikseli kuvaa omaa RGB väriään, useampi kenno värien kuvaamista varten tai sitten suodatinkiekon avulla. (Axis Communications 2010; Sneha 2017; Fermum 2018, Colour filters)

Matriisikamerat ovat yleisin kameratyyppi. Näissä kameran kuva muodostuu kennolle, joka koostuu rivistä ja sarakkeista. Jokaisen rivin ja sarakkeen määräämässä paikassa on yksi pikseli, joka saa sähköisen varauksen valon vaikutuksesta. Varauksen suuruus vaikuttaa valotusarvoon ja tämä varaus muutetaan A/D-muuntimella signaaliksi, joka lähetetään kamerasta eteenpäin.

2.1.2 3D-kamerat

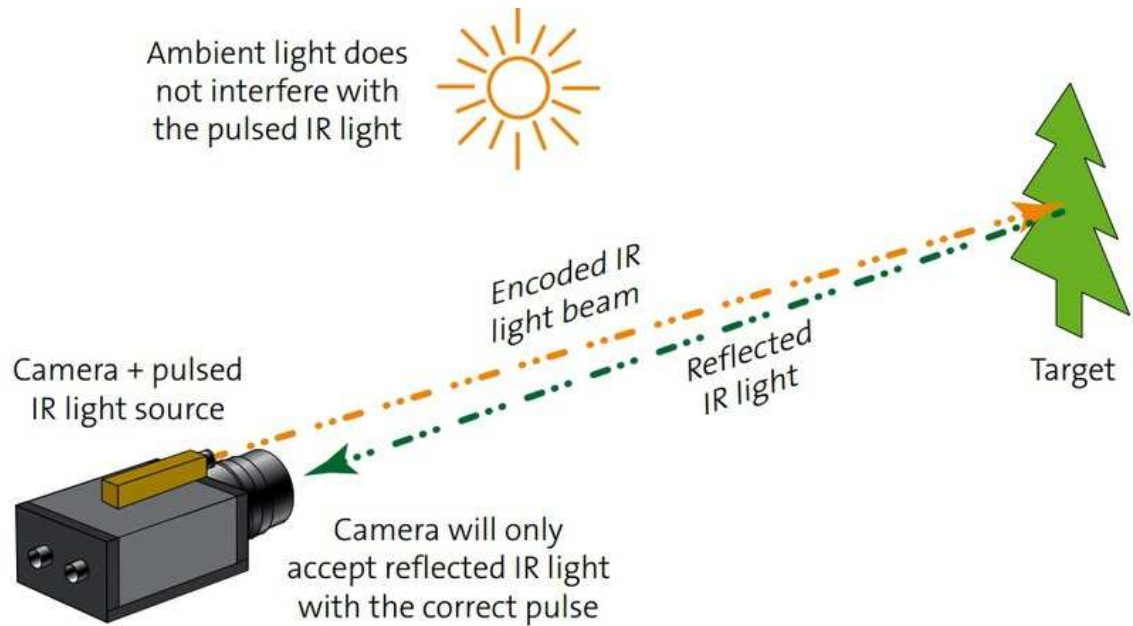
3D-kamerat kykenevät luomaan kuvattavasta kohteesta 3D-mallin, jota voidaan analysoida. Kameroilla voidaan luoda 3D-kuvia monilla eri tavoilla. Näistä yleisimpiä ovat stereokaappaus, rakenteellinen valaisu ja time of flight.

Stereokaappaus on yleinen 3D-kuvausmenetelmä. 3D-kuvien muodostaminen perustuu kahteen kameraan, jotka ottavat kuvattavasta kohteesta kaksi hieman toisistaan poikkeavaa kuvaa. Tämän jälkeen kameroiden vastinpisteet kohdistetaan ja kyetään luomaan syvyyskartta. Tämä vaatii erittäin tarkan kameroiden kalibroinnin, jotta todellisuutta vastaava syvyyskartta saataisiin tehtyä. (Kuva 4.) Stereokuvantaminen voidaan tehdä myös yhdellä kameralla ja liikkuvalla robotilla. Tällöin kamera kuvaa kohdetta useista eri paikoista ja kohteen paikka voidaan määrittää johonkin tunnettuun pisteeseen nähden. (Wilson 2009)



Kuva 4: Stereokuvauskamerat ja syvyyskartta (Vision systems design)

Time of flight on 3D-kuvantamistekniikka, jonka toiminta perustuu moduloituun valonlähteeseen. Kamera toimii sytyttämällä valon, jonka takaisinheijastumiseen kulunutta aikaa käytetään kohteen etäisyyden määrittämisen. Valonlähteenä toimii joko laser tai sitten aallonpituudeltaan lähellä infrapuna oleva valo. Valonlähde on ihmissilmälle näkymätön. Vaihe-eron havaitsemiseksi valon lähde joko pulssitetaan päälle tai sitten moduloidaan jatkuvaa valon lähdeä. (Kuva 5.) Kuvantamistekniikalla ei saada tehtyä kovinkaan tarkkoja kuvia, mutta kyetään kuitenkin tunnistamaan suuret kappaleet ja niiden positiot. Tekniikkaa käytetäänkin enemmän hahmontunnistukseen kuin tarkkaan mittamiseen. (Li 2014, 1)



Kuva 5: Time of Flight -kameran toiminta (Stemmer-Imaging)

Rakenteellinen valaisu perustuu usein laserviivaan, jonka vääristymän perusteella pysyttään määrittämään kappaleen dimensiot. Valaisu voidaan tehdä myös projisoimalla tietty kuvio, jonka vääristymän perusteella voidaan laskea kuvattavan kohteen dimensiot. Rakenteellisessa valaisussa kuvattavan kohteen pitää pysyä paikallaan tai muuten kuvattava kohde sumentuu. Tekniikan tarkkuuteen vaikuttaa myös viivaprojektion tarkkuus kameran ja optiikan lisäksi. Rakenteellista valaisua käytetään tarkkojen 3D-kuvien muodostamiseen. (Kuva 6.) Mikäli suoritetaan 3D-skannausta rakenteellisen valaisun avulla, kyetään luomaan pistepilvi piirteiden positiosta ja dimensioista. Pistepilvestä saadaan sitten luotua syvyyskartta ja tarkka 3D-kuva. (Li 2014, 3)

CONSIDERATIONS	STEREO VISION	STRUCTURED-LIGHT	TIME-OF-FLIGHT (TOF)
Software Complexity	High	Medium	Low
Material Cost	Low	High	Medium
Compactness	Low	High	Low
Response Time	Medium	Slow	Fast
Depth Accuracy	Low	High	Medium
Low-Light Performance	Weak	Good	Good
Bright-Light Performance	Good	Weak	Good
Power Consumption	Low	Medium	Scalable
Range	Limited	Scalable	Scalable
APPLICATIONS			
Game		X	X
3D Movies	X		
3D Scanning		X	X
User Interface Control			X
Augmented Reality	X		X

Kuva 6: Yhteenveto 3D-kuvantamistekniikoista (Texas Instruments)

2.2 Optiikka

Optiikka on tärkeä osa konenäkökameroissa. Valitsemalla oikeantyyppinen objektiivi, oikean kokoisella linssillä saadaan kuvasta terävä ja hyvälaatuinen. Tavoitteena on, että kuvattava kohteesta näkyy kuvattavat piirteet riittävällä tarkkuudella. Oikean linssin valintaan on käytettävissä linssiyhtälö. (Kuva 7.)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

Kuva 7: Linssiyhtälö

Yhtälössä f on polttoväli, u kohteen etäisyys linssistä ja v linssin etäisyys kuvatasosta. Yhtälö antaa vain likimääräisen arvon, sillä linssit eivät ole täydellisiä vaan niissä on vääristymiä sekä eri aallonpituudet taittuvat erisuuntiin. Yhtälöä voi kuitenkin hyvin käyttää optiikan polttovälin määrittämiseen. Linssin aiheuttamia vääristymiä pyritään korjaamaan myöhemmin kalibroimalla kameran kuvaa ohjelmistotasolla niin, että vääristymät poistuvat kuvasta. (Fermum 2018, Selection of the appropriate optics)

Tämän lisäksi voidaan sopiva linssin polttoväli laskea kahdella eri tavalla kuvan 8 mukaisesti.

1. $f = v \times (D/V)$ tai

2. $f = h \times (D/H)$ missä

f = polttoväli

V = kuva-alan leveys vaakasuunnassa

H = kuva-alan korkeus pystysuunnassa

D = kuvausetäisyys kohteesta optiikan etureunaan

v = vaakasuunnan kerroin, joka riippuu kameran kennon koosta (taulukko)

h = pystysuunnan kerroin, joka riippuu kameran kennon koosta (taulukko)

Kameran kenno	1"	2/3"	1/2"	1/3"	1/4"	1.2"	1/1.8"	1/2.5"
v	9,6	6,6	4,8	3,6	2,7	15,2	5,3	3
h	12,8	8,8	6,4	4,8	3,6	15,2	7,2	5

Kuva 8: Polttovälin laskeminen

Optiikat jaetaan yleensä kahteen erilaiseen ryhmään linssin perusteella, telesentrisiin sekä entosentrisiin. Entosentrisiä linsejä kutsutaan myös normaaleiksi linsseiksi, mikäli niiden aukon avauskulma vastaa ihmissilmää, eli noin 50 astetta. Kalansilmälinssiksi kutsutaan linssiä, jonka aukon avauskulma on noin 180 astetta. Koska entosentristen linsien aukon kulma on suuri, esiintyy niissä paljon vääristymiä, kun puoliympyrän muotoinen kuva asettuu tasomaisesti kuvassensorille. Mitä suurempi aukon kulma on, sitä suurempi on geometrinen vääristymä mikä kuvassa esiintyy. (Kuva 9.) Telesentrisissä linseissä aukon kulma on mahdollisimman lähellä arvoa 0, jolloin kuva muodostuu kohtisuoraan kuvaussensorille, jolloin vääristymät jäävät vähäiseksi. (Fermum 2018, Entocentric Lenses)



ENTOCENTRIC LENS



TELECENTRIC LENS

Kuva 9: Entosentrisen ja telesentrisen linssin ero (Vision-Doctor)

Entrosentrisiä linsejä käytetään yleensä normaalissa kuvaamisessa ja telesentrisiä silloin kuin tarvitaan tarkkoja ja virheettömiä kuvia. Telesentrisissä linseissä myös kohteen etäisyys kuvaussensorista ei vaikuta kohteen kokoon kuvaussensorilla, kun kohde on telesentrisellä alueella. Tällöin kappaleen liikkuminen kameraa kohti tai poispäin ei aiheuta vääristymiä ja kuvattavan kohteen koon muuttumista. (Fermum 2018, Entrocentric Lenses)

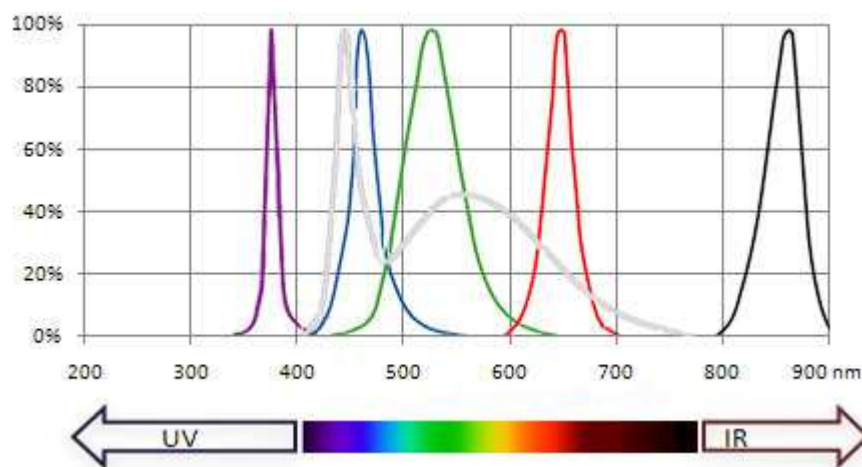
2.3 Valonlähteet

Valaistus on konenäössä tärkein yksittäinen tekijä, jolla voidaan vaikuttaa kuvan laatuun. Valaistuksen pitäisi olla mahdollisimman homogeeninen ja valaistusolosuhteiden vaihtelut olisi saatava pois kuvausprosessista. Valaistuksella pyritään tuomaan esille hyvin vahva vaaleatumma kontrasti. Vasta kun kuvattavan kohteen piirteet saadaan korostettua tarpeeksi vahvalla kontrastilla, voidaan kuvankäsittelyohjelmistolla suorittaa tarpeeksi tarkka analyysi kuvattavasta kohteesta. (OEM Automatic 2018, 1)

Konenäössä käytetään useita erilaisia valonlähteitä. Oikean valaistuksen valitsemisessa tärkeintä on tietää mitä piirteitä halutaan tuoda esiin kuvattavasta kohteesta.

2.3.1 LED

Led-valaistus on yleinen valinta konenäköjärjestelmään. Ledeillä on monia hyviä puolia, jotka puoltavat niiden käyttöä. Ledit ovat vähävirtaisia, ja niiden elinikä on hyvin pitkä. Led-valaistus on hinnaltaan yleensä alhainen, mutta tarjoaa laajan spektri alueen, pienen koon sekä kirkkaan valaistuksen. Led-valaistuksen aallonpituus kattaa koko värillisen spektrin sekä ultravioletin, että infrapunaa aallonpituuden. (Kuva 10.) Ledit eivät myöskään kärsi valojen sytyttämisestä ja sammuttamisesta vaan päinvastoin se pidentää ledien elinikää. (Fermum 2018, LED Illumination)



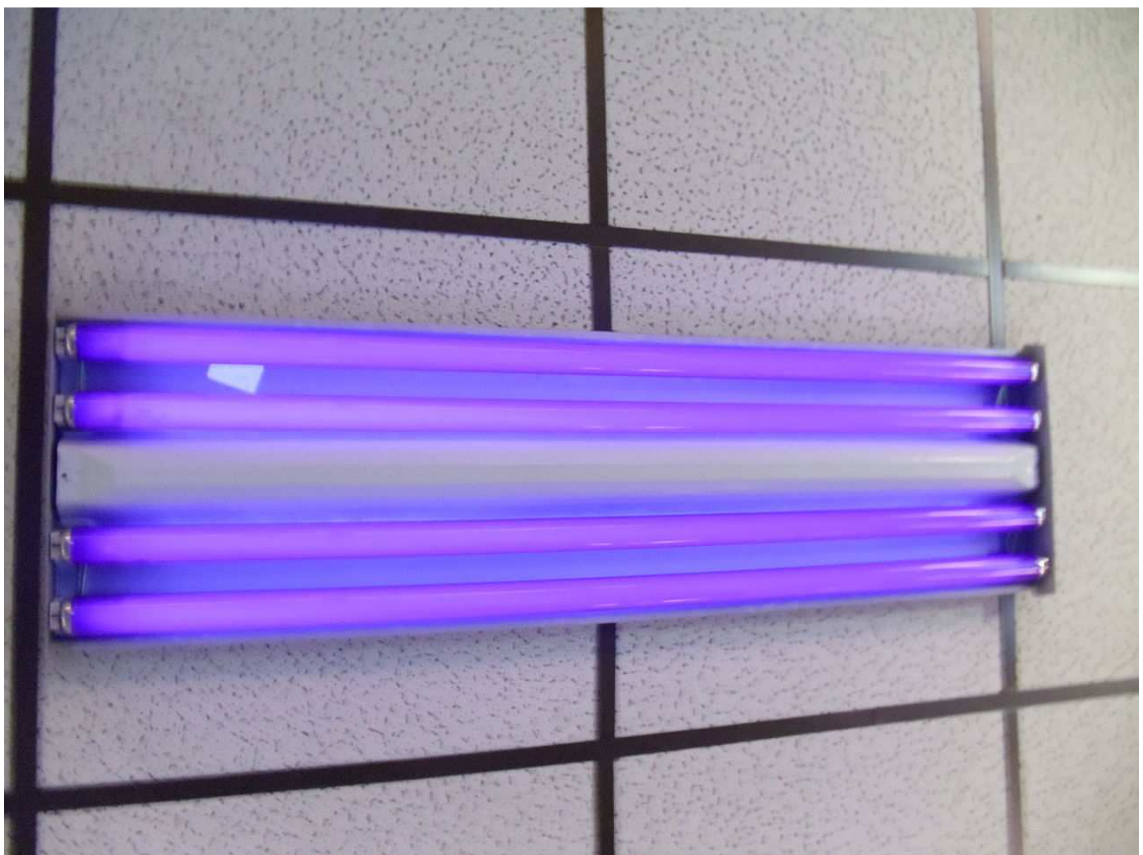
Kuva 10: Ledien spektri

2.3.2 Infrapuna

Infrapuna valot ovat täysin erilaisia verrattuna normaaleihin valaistustekniikoihin. Infrapuna valaistuksessa on huomioitava, että kameran kenno ei yleensä valotu infrapunaa vaikutuksesta. Asian korjaamiseksi on kehitetty kennoja, jotka reagoivat infrapunaan huomattavasti CMOS- ja CCD-kennoja paremmin. Normaaleilla monokromaattisilla kameroilla kuitenkin pystytään kuvaamaan infrapunaa, joka on aallonpituudeltaan väliltä 780–1000 nm. Infrapunaa etuna on sen alhaisempi taajuus ja siten vähäisempi vuorovaikutus kuvattavassa kohteessa. Tämä tarkoittaa sitä, että infrapuna uppoutuu kohteeseen paljon syvemmälle ja joissain tapauksissa lävistää kohteen täysin. Infrapunaa voidaan käyttää esimerkiksi halkeamien etsimiseen. (Fermum 2018, IR illumination)

2.3.3 Mustavalovalaistus

Mustavalovalaistus eli ultraviolettivaistus on valoa, jonka aallonpituus on väliltä 10–400 nm. UV-valaistus on erittäin hyödyllistä, mikäli halutaan kuvata tarkasti kuvattavan kohteen pintaa. UV-valon alhaisen aallonpituuden takia se ei uppoa kovin syvälle kuvattavaan kohteeseen vaan tuo pinnassa olevat naarmut ja pölyn hyvin esille. UV-valaistusta käytetään yleensä silloin kun valon halutaan heijastuvan kohteesta mahdollisimman paljon. UV-valaistusta voidaan käyttää konenäköjärjestelmässä tuomaan esille liiman paikan kuvattavassa kohteessa. (Fermum 2018, UV illumination)

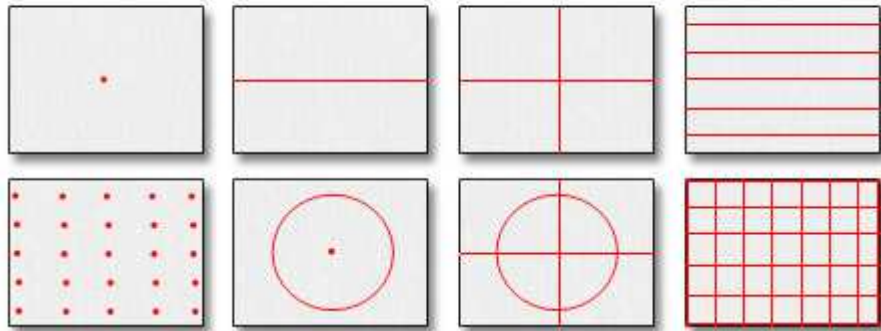


Kuva 11: Mustavaloloihiteputki

2.3.4 Laser

Laser-valaistus on erityinen valaistustekniikka konenäössä. Sen käyttö on yleistä 3D-kameroissa, jotka hyödyntävät laserin geometrista valokuvioita piirteiden esiintuomiseen. (Kuva 12.)

Typical geometric light patterns of lasers
(diffractive optics excluding point)



Kuva 12: Laserin geometrisia valokuvioita (Vision Doctor)

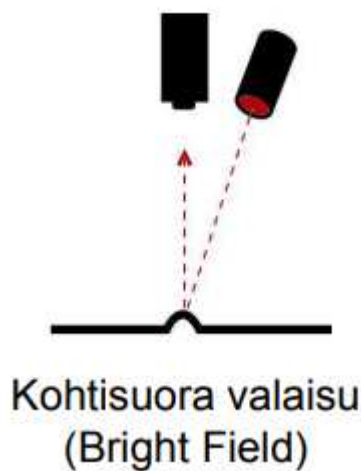
Laser-valaistusta käytetään sen takia, että sillä voidaan valaista kaukaakin kuvattava kohde ja sen avulla saadaan tietoa myös muodosta. Yleisiä käyttökohteita ovat mittaus, osien paikoitus ja muotojen tunnistus. Mikäli käytetään punaista lasersädettä, on hyvä myös laittaa linssiin kaistanpäästösuodin, joka päästää läpi vain punaisen aallonpituuden. Kun laser valaistusta käytetään mittaamiseen, on tärkeää varmistaa, että laserviiva on lineaarinen, tarpeeksi tarkka sekä valon kirkkaus pysyy vakiona koko kuvausprosessin ajan. (Fermum 2018, Laser illumination; Stemmer-Imaging 2018, Laser illumination)

2.4 Valaistustekniikat

Valaistustekniikoita on monenlaisia, joista jokainen sopii erilaiseen käyttökohteeseen. Valaistustekniikoiden tavoitteena on saada kuvattava kohde näkyviin mahdollisimman hyvin. Tämä onnistuu joko häivyttämällä turhia yksityiskohtia tai sitten korostamalla tiettyjä yksityiskohtia. Valaistustekniikka on tärkeä osa valaistuksen suunnittelua konenäköjärjestelmissä. Kun valonlähde on valittu, seuraavana tehtävänä on miettiä, miten saadaan parhaiten korostettua kuvattavan kohteen piirteitä. Tähän auttavat erilaiset valaistustekniikat, joissa valon sijoittelulla pyritään saamaan tietty piirre esille kuvattavasta kohteesta.

2.4.1 Bright field

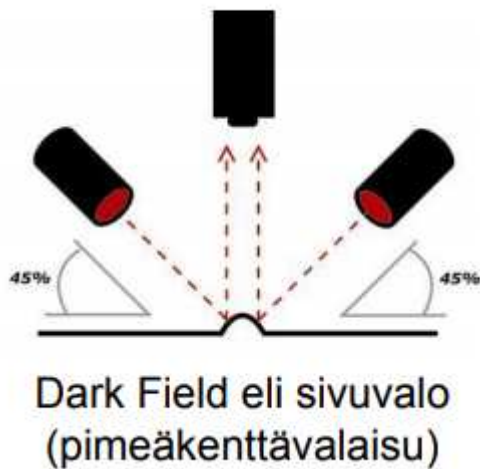
Bright field eli kohtisuora valaistus on valaistustekniikka, jossa kuvattava kohde valaistetaan ylhäältäpäin. (Kuva 13.) Valaistustekniikkaa käytetään, kun kuvattavassa kohteessa ei ole heijastavaa pintaa. Tekniikan avulla saadaan tuotua esiin suuret kontrastierot sekä selkeät varjot. Huonoina puolina valaistustekniikalla ei yleensä saada yhtenäistä valaistusta koko kuvausalueelle sekä heijastavien materiaaleiden kuvaaminen on vaikeaa. (Cognex 2016, 14)



Kuva 13: Bright Field -valaisu

2.4.2 Dark field

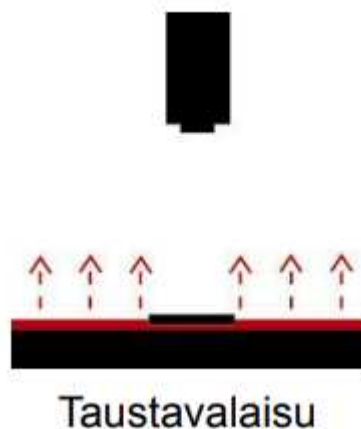
Pimeäkenttävalaistuksessa valaistus on suunnattu kuvattavaa kohdetta kohden loivasta kulmasta. Kun valo tulee loivassa kulmassa, pinnan epätasaisuudet, lika ja naarmut muuttavat valon heijastuskulmaa jolloin piirteet näkyvät selkeästi kameran sensorilla. (Kuva 14.) Pimeäkenttävalaistusta käytetään yleensä alhaisen kontrastin sovelluksissa. (Cognex 2016, 14)



Kuva 14: Pimeäkenttävalaistus

2.4.3 Taustavalaisu

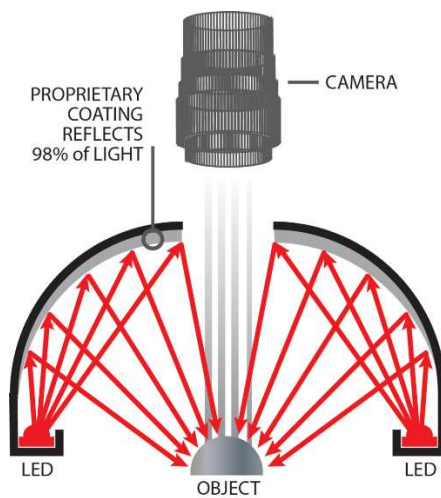
Kuvattavaa kappaletta valaistaan sen taustalta. (Kuva 15.) Tällöin kuvattavan kohteen ulkomuodot korostuvat. Taustavalaisua käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan vain ulkoreunojen mittauksia. Taustavalaisun avulla on helppo toteuttaa hahmontunnistus, paikointi ja saadaan tehtyä luotettavia dimensiomittauksia. Taustavalaistuksella saadaan kuvattava kohde näkymään kameran kennolla mustana, taustan pysyessä valkoisena. (Cognex 2016, 13)



Kuva 15: Taustavalaisu

2.4.4 Diffuusiovalaisu

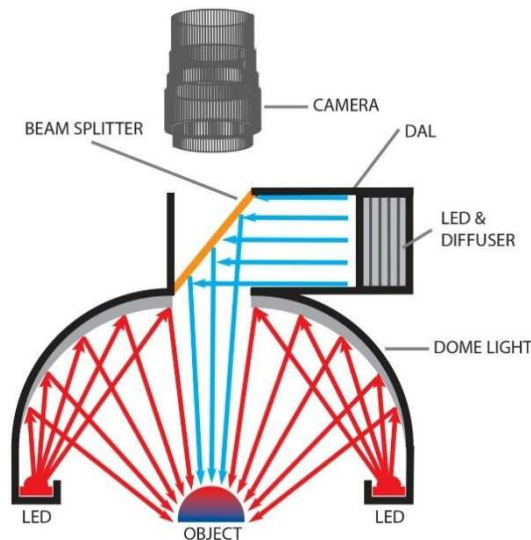
Diffuusiovalaisu on ratkaisu heijastavien kappaleiden valaisua varten. Toiminta perustuu valon heijastamiseen peilien avulla erityisellä kupolilla, jonka alareunaan on sijoitettu valot. (Kuva 16.) Diffuusiovalaisulla pyritään siihen, että valo ei heijastuisi takaisin kappaleesta. Antaa erittäin tasaisen valaistuksen koko kuvausalueelle. (OEM Automatic 2018, 3)



Kuva 16: Diffuusiovalaisu (Metaphase-tech)

2.4.5 Aksiaalinen diffuusiovalaisu

Aksiaalisen diffuusiovalaisun toiminta perustuu puoliläpäisevään peiliin. Valo suunnataan sivusta kohti peiliä, joka taittaa valon kuvattavaa kohdetta päin. Valo valaisee kuvattavan kappaleen suoraan kameran suunnasta. Kohteesta heijastuva valo heijastuu takaisin kameralle, johtaen valaisultaan homogeeniseen kuvaan. Voidaan käyttää esimerkiksi syvien kuoppien valaisuun, joihin muodostuu muilla valaistustekniikoilla varjoja. Ratkaisu myös auttaa valojen sijoittelussa, kun ne voivat olla sivussa. (OEM Automatic 2018, 3)



Kuva 17:Koaksiaalinen diffuusiovalaisu (Metaphase-tech)

Kuvassa 17 on yhdistetty diffuusio- sekä aksiaalinen diffuusiovalaisu. Yhdistämällä nämä kaksi eri valaistustekniikka saadaan kameran kohdalla olevasta pimeästä kohdasta myöskin valaistus kuvattavalle kohteelle.

2.5 Kaistanpäästösudattimet

Kaistanpäästösudattimilla pyritään saamaan epäsuotuisat aallonpituudet pois kuvausprosessista. Suotimilla saadaan leikattua pois kaikki tarpeettomat aallonpituudet, jotka heikentävät kuvanlaatua. Kun kaistanpäästösudin ja valaistus valitaan oikein, saadaan korostettua vielä enemmän kontrastia sekä kuvauksen toistettavuus paranee. Suotimet myöskin suojaavat kameran linssiä ja suodin onkin välttämättömyys konenäköjärjestelmässä. (Midwest Optical Systems, 2013)

Suotimet jaetaan eri ryhmiin niiden kaistanpäästöalueen perusteella. Erikseen löytyvät mm. UV-kaistanpäästösudattimet ja IR-kaistanpäästösudattimet. On olemassa myöskin suotimia, jotka päästävät läpi kaksi kaistaa. Suotimet kiinnitetään yleensä suoraan kiinni optiikassa oleviin kierteisiin, mutta on olemassa myöskin suotimia jotka tulevat optiikan ja kameran kuvassensorin väliin. (Fermum 2018, Use of filters)



Kuva 18: Kaistanpäästösuodattimia (Midwest Optical Systems, Inc)

Kaistanpäästösuodin voi olla myös osa suodatinkehikkoa. Suodatinkehikon avulla voidaan helposti vaihtaa useita erilaisia kaistanpäästösuotimia kameralle. Suodatinkehikon yleisimmät kaistanpäästösuotimet ovat RGB väreille, tämä mahdollistaa värikuvien ottamisen käyttäen monokromaattista kameraa.

3 KAMEROIDEN TIEDONSIIRTO

Tiedonsiirto on keskeinen osa konenäköjärjestelmässä, sillä konenäkökamerat on saatava keskustelemaan tietokoneiden, logiikoiden ja robottien kanssa. Tiedonsiirrossa keskeisintä on käytettävä protokolla, joka määrittää keskinäisten laitteiden välisen yhteyden. Toimeksiannon tiedonsiirto toteutettiin täysin Ethernet verkossa. Kameratekniikat käyttivät GigE Vision rajapintaa, joka määrittelee kameroiden tiedonsiirron Ethernet verkossa.

Konenäköjärjestelmien suurin ongelma on siirrettävän tietomäärän koko. Kameratekniikat kykenevät ottamaan helposti satoja kuvia sekunnissa, joka ruuhkauttaa käytettävää väylää. Tämän takia on tärkeää, että käytetään sopivaa tiedonsiirtoprotokollaa ja -rajapintaa, jotta tukoksilta ja pakettien katoamiselta vältyttäisiin.

3.1 OSI-tiedonsiirtomalli

OSI-malli eli Open Systems Interconnection Reference model on verkon kuvantamiseen luotu malli, joka on jaettu seitsemään eri kerrokseen, joista jokainen välittää tietoa alemmasta kerroksesta ylemppään kerrokseen. (Kuva 19.) (Simoneau 2006, 2)



Kuva 19: OSI-malli (Wikipedia)

Kerrokset ja niiden tehtävät ovat seuraavanlaiset

1. Fyysinen kerros

Määrittelee tiedonsiirtoprotokollan fyysiset ominaisuudet. Tässä kerroksessa määritellään käytettävä tiedonsiirtokaapeli, sen pinnien layout, impedanssit, jännitteet, signaaliajoitukset sekä muut vastaavat ominaispiirteet. Fyysisessä kerroksessa myös määritellään käytettävä verkkotopologia. Fyysinen kerros myös rajoittaa käytettävissä olevan tiedonsiirtonopeuden. Myöskin tiedonsiirron tyyppi määritellään tässä kerroksessa. Tiedonsiirto voi olla joko unicast, half duplex tai full duplex tyyppistä. (Simoneau 2006, 3-4)

2. Siirtoyhteyshierarkia

Siirtoyhteyshierarkiassa määritellään datan liikkuminen kahden fyysisesti yhteydessä olevan noodin välillä. Kytkimet kuuluvat myös tähän kerrokseen. IEEE802-standardi jakaa siirtohierarkian vielä kahteen selkeästi erilaiseen kerrokseen. MAC- sekä LLC-kerrokseen. MAC-kerroksen tehtävänä on IEEE802.3-standardin mukaisesti kapseloida data tiedonsiirtoa varten, kehysten vastaan ottaminen sekä lähettäminen, hajanaisten kehysten hylkäys sekä kontrolloi fyysisen kerroksen käyttöä monien muiden tehtävien lisäksi. (IEEE802.3, 2015) LLC toimii rajapintana MAC-kerroksen sekä verkkokerroksen välillä. Sen pääasiallinen tehtävä on keskustella ylemmän protokollakerroksen kanssa. LLC mahdollistaa useiden eri rajapintojen käytön samassa fyysisessä verkkoalustassa. (Thakur 2018)

3. Verkkokerros

Verkkokerros on kolmas protokollapistin kerroksista. Sen tehtävänä on huolehtia pakettien siirrosta useiden verkkojen yli. Tähän kerrokseen kuuluu myöskin TCP/IP-mallin IP-protokolla, jota käytetään laitteiden tunnistamiseen ja pakettien lähettämiseen oikeaan osoitteeseen. Tässä kerroksessa myös valitaan sopivin reitti paketin lähettämiseen. (Simoneau 2006, 5)

4. Kuljetuskerros

Kuljetuskerrokseen kuuluu muun muassa TCP- ja UDP-protokolla. Kerroksen tehtävänä on huolehtia, että paketit menevät perille asti sekä järjestellä ne

oikeaan järjestykseen. Tämän lisäksi kuljetuskerroksessa suoritetaan datavirran rajausta sekä tungosten estoa. (Simoneau 2006, 6)

5. Istuntokerros

Istuntokerros hallinnoi tietokoneiden välistä yhteyttä. Kerroksen tehtäviin kuuluu istuntojen aloittaminen, lopettaminen sekä ylläpito. Lisäksi kerroksessa huolehditaan datan uudelleenlähettämisestä. (Simoneau 2006, 7)

6. Esitystapakerros

Kerroksen tehtävänä on määritellä saadun paketin datan esitystapa. Tässä kerroksessa suoritetaan yleensä myös viestin kryptaus sekä niiden purkaminen. (Simoneau 2006, 8)

7. Sovelluskerros

Tämä kerros on käyttäjää kaikkein lähimpänä. Sovelluskerroksessa määritellään, että minkä sovelluksen käyttöön tieto menee. OSI-malli kuvaa kerrosta käyttäjärajapintana, jossa saatu data esitetään. (Simoneau 2006, 9)

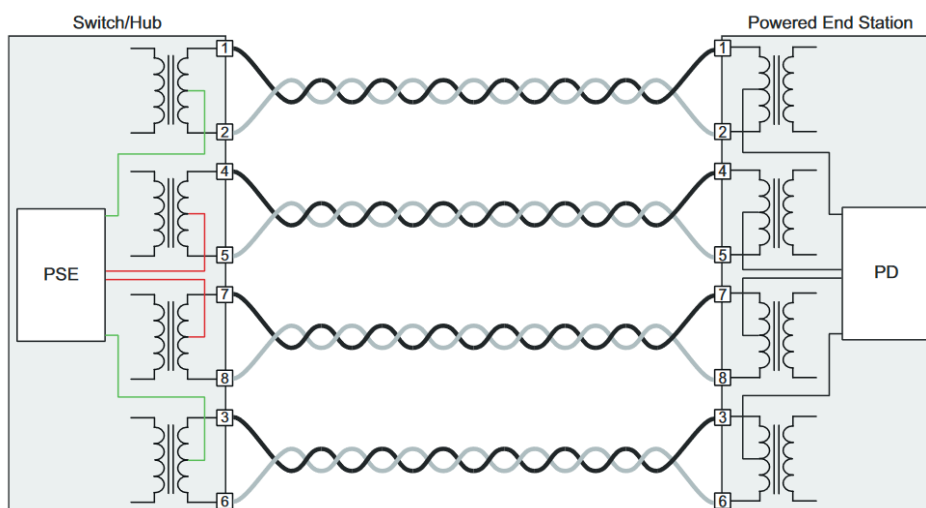
3.2 Ethernet

Ethernetillä tarkoitetaan pakettipohjaista lähiverkkoratkaisua. Ethernet sijoittuu OSI-mallissa kerroksille 1 ja 2. Ethernet tarjoaa IEEE802.3-standardien mukaisesti mahdollisuuden lähiverkkojen luomiseen. Ethernet teknologia käyttää hyödykseen CSMA/CD kilpavarausteknologiaa pakettien lähettämiseen. (Simmons 2008, 1)

Ethernetin tiedonsiirtonopeus on riippuvainen käytetystä kaapelista sekä liitettävien laitteiden välimatkasta. Parhaimmat nopeudet saavutaan valokuitukaapeleilla, mutta kuparikaapeleillakin päästään suuriin tiedonsiirtonopeuksiin. Yleisin Ethernetin kaapeli onkin kieritetty parikaapeli, jolla voidaan saavuttaa ainakin 10GBit/s tiedonsiirtonopeus. (IEEE802.3an 2006)

Ethernet lähiverkon laitteiden tehonsyöttö on mahdollista toteuttaa käyttäen kieritettyä parikaapelia IEEE802.3af-2003-standardin mukaisesti. Tekniikasta käytetään nimitystä Power over Ethernet ja sen syöttämä maksimiteho on 15,4 W. PoE+ teknologian mää-

rittelemä maksimi syöttöteho on 30 W. Tehonsyöttö voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on käyttää Cat5 kaapelin datapareja. Tämä myös mahdollistaa vanhemman Cat3 luokan kaapelin käytön PoE sovelluksissa, joissa maksimiteho on 15,4 W. Toinen tapa on käyttää Cat5 kaapelin käyttämättömiä parikaapeleita. Kolmas vaihtoehto on käyttää sekä datapareja, että käyttämättömiä parikaapeleita tehonsyöttöön. (Kuva 20.) Tällöin maksimi tehonsyöttö nousee jopa 100 W asti IEEE802.3bt-standardin mukaisesti, mutta vaatii uudentyyppisen kaapelin. (Abramson & Balasubramanian 2014)



Kuva 20: PoE-tehonsyöttö (Microsemi)

3.3 GigE Vision -rajapinta

GigE Vision -rajapinta on luotu vuonna 2006 useiden konenäkökameroiden valmistajien aloitteesta. Rajapinta on luotu helpottamaan GigE Vision laitteiden kommunikointia toistensa kanssa. Standardi perustuu löyhästi Ethernet teknologiaan. Rajapinta koostuu neljästä pääosasta jotka ovat: GigE Device Discovery, GigE Vision Control Protocol, GigE Vision Stream Control sekä XML-laitekuvaustiedosto. (GigE Vision 2013)

GigE Device Discovery määrittelee laitteen tunnistamiseen käytettävän tavan. Laitteen tunnistaminen on jaettu kolmeen eri sekvenssiaskeleeseen.

1. Yhteyksien selvittäminen

Laitteen käyttämistä verkkorajapinnoista tunnistetaan aktiiviset yhteydet. Tämän jälkeen IEEE802.3 standardissa määritelty automaattinen selvitys proseduuri hoitaa yhteysnopeuden määrittelyn. (GigE Vision 2013, 36)

2. IP määrittely

IP-osoitteen määrittelyyn käytetään standardi IP-protokollia. Jokaiselle laitteelle on tarkoitus määrittellä oma uniikki IP-osoitteensa. GigE Vision laitteiden pitääkin tukea DHCP ja LLA verkkoprotokollia. Standardi myös mahdollistaa, mikäli laite sitä tukee, laitteiden IP-osoitteen määrittämisen persistent IP:nä. Tällöin laite pitää oman IP-osoitteensa, vaikka laite menettäisi virran tai nollattaisiin. (GigE Vision 2013, 36)

3. Laitteiden luettelointi

Luettelointi alkaa, kun sovellus pyytää tietoa käytettävissä olevista saman verkon laitteista. Rajapinta määrittelee, että laitetiedot haetaan käyttäen UDP protokollaa. Joko broadcast ominaisuutta hyödyntäen, mikäli laitteen IP-osoite ei ole tiedossa ja mikäli on, käyttäen unicast UDP:tä. Askel toteutetaan käyttäen rajapinnassa määriteltä GigE Vision Control protokollaa hyödyntäen, protokollan mukaisesti laite keskustelelee sovelluksen kanssa ja tietona siirtyy käytettävissä olevan laitteet tiedot kuten valmistaja, malli yms. (GigE Vision 2013, 36)

GigE Vision Control on sovelluskerroksen protokolla, joka hyödyntää UDP-siirtokerros protokollaa. Vision control protokollan tarkoituksena on antaa sovellukselle mahdollisuus määrittellä laitteiden konfiguraatiot. GVCP tukee vain yhden sovelluksen käyttöoikeuden määrittämistä laitteelle, mutta protokolla ei estä muita sovelluksia lukemasta laitteen tietoja, mikäli pääsovellus tämän sallii. Kirjoittaminen laitteeseen on kuitenkin sallittua vain pääsovellukselta. Sovellus voi myös pyytää laitteen käyttöoikeutta pääsovellukselta, mikäli laite ja pääsovellus tukevat käyttöoikeuksien periyttämistä. GVCP:llä on muutama tavoite, jotka se pyrkii saavuttamaan: käsky ja vastausviestien vaihto GigE laitteen sekä GigE Vision sovelluksen välillä, määrittää mekanismi GigE laitteelle lähettää asynkronisia tapahtuma viestejä GigE Vision sovellukselle, määrittää kanava sovelluksen ja laitteen välille, uniikki pääsy laitteisiin jolloin vain yksi sovellus pystyy hallitsemaan laitetta ja minimoida IP-pinon monimutkaisuus GigE Vision laitteissa. (GigE Vision 2013, 62)

GigE Vision Stream on myöskin sovelluskerroksen protokolla, joka myöskin pohjautuu UDP-protokollaan. Se mahdollistaa GVSP:n käytön kuvadatan, informaation ja muun informaation saamiseen GVSP lähettimeltä GVSP vastaanottimelle. GVSP:n tavoitteina on määrittellä mekanismi GSVP lähettimelle lähettää tietoa vastaanottajalle, tukea itsekuvaavaa dataa, minimoida verkon kaistanleveyden ylimääräinen käyttö sekä minimoida

IP-pinon monimutkaisuutta. GVSP määrittelee kuvissa käytettävän tiedostotyyppin sekä tiedonsiirron. (GigE Vision 2013, 162)

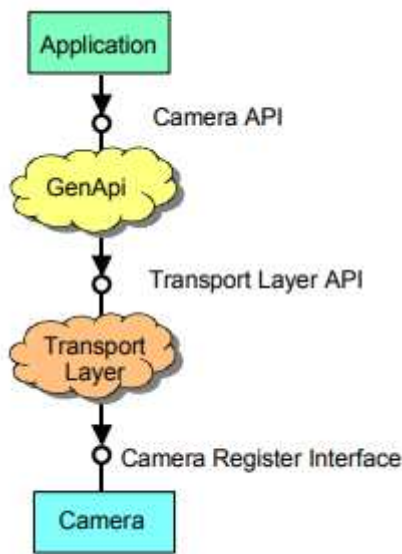
XML-laitekuvaustiedosto pohjautuu GenICam standardiin. GigE Vision standardi tarjoaa taulukon erilaisista bootstrap rekisterin osoitteista. Standardi myös kertoo, että onko taulukossa esiintyvä tietystä osoitteesta löytyvä rekisteri pakollinen vai ei. Lisäksi standardissa määritellään, että pääseekö käyttäjä kirjoittamaan kyseisen rekisterin osoitteeseen dataa vai lukemaan rekisterin dataa. XML tiedostoa käytetään laitteen konfiguroimiseen. (GigE Vision 2013, 316-326)

3.4 GenICam-ohjelmointirajapinta

GenICam on Euroopan konenäköyhdistyksen ylläpitämä standardi, joka määrittelee yleisen ohjelmointirajapinnan kaikenlaisille kameroille. GenICam koostuu kolmesta standardista ja yksi standardi koostuu useista moduuleista. Standardit ovat: GenICam GenApi, GenICam GenCP sekä GenICam GenTL. (EMVA 2018)

GenApi-standardi on luotu kameran konfiguroimiseen. Standardi keskittyy kameran laitekuvaustiedoston muokkaukseen ja luomiseen. Standardin mukaisesti uuden ominaisuuden lisääminen kameraan tarkoittaa XML-laitekuvaustiedoston pidentämistä, minkä takia uusi ominaisuus on heti käytettävissä kaikissa GenICam sovelluksissa. (GenICam GenApi 2016, 7)

GenApi toiminta on seuraavanlainen. (Kuva 21.) Sovellus tarvitsee kameran ohjelmointirajapinnan, joka mahdollistaa kameran ominaisuuksien muuttamisen. Kameran ohjelmointirajapinnassa kirjoitetaan koodi, jonka GenApi muuttaa käskyiksi, jotka siirtyvät kuljetuskerroksen ohjelmointirajapinnan tarjoamiin register access funktioihin. Tämän jälkeen kuljetuskerros vie käskyt kameran rekisteriin jonne muutokset tallennetaan. (GenApi 2016, 7)



Kuva 21: Kameran konfiguroimiseen liittyvät kerrokset (GenApi)

GenICam standardi määrittelee vain kameran laitekuvaustiedoston syntaksin. Standardissa ei käydä läpi koodia tai ominaisuuksien kääntämistä rekistereihin. Standardi sisältää kuitenkin referenssitoteutuksen laitekuvaustiedostosta, joka on vapaasti kaikkien käytettävissä. GenApi moduuli mahdollistaa kaikille omien laitekuvaustiedostojen kirjoittamisen. (GenApi 2016, 8)

GenICam GenTL standardi määrittelee yleisen tiedonsiirtorajapinnan sekä yleisen tavan luetteloida käytettävissä olevat laitteet sekä laitteiden välisen kommunikoinnin ja datan siirron. GenTL ja GenApi yhdessä tarjoavat ohjelmistoarkkitehtuurin, jolla on pääsy laitteisiin. Standardi määrittelee vain kuljetuskerroksen rajapinnan kuvien ottamiseen ja laitteiden väliseen kommunikaatioon, ei konfiguroimiseen. (GenTL 2015, 11)

Usein sarjaporttia käyttävät laitteet toimivat oman ohjausprotokollan mukaisesti. Nämä ohjausprotokollat on mahdollista integroida GenICamiin GenCP-standardin CLProtocol moduulin avulla. Vaatimuksena on, että laitevalmistaja tarjoaa DLL-tiedoston kaikille tuetuille käyttöjärjestelmille. DLL-tiedostoa käytetään ohjausprotokollan muuttamiseen GenICam yhteensopivaksi rekisterikartaksi. GenCP-standardi keskittyykin erilaisten ohjausprotokollien yhteensovittamiseen ja laitteen konfiguroimiseen. (GenCP 2016, 8)

4 TUOTANTOPROSESSIN LAADUNHALLINTA

Laadunhallinta on tuotannon yksi tärkeimmistä osa-alueista. Valmistettavien tuotteiden on täytettävä tiukat toleranssivaatimukset ja oltava laadultaan riittäviä. Laadunhallinta oli keskeinen seikka opinnäytetyön mittatulkinnassa käyttöönotossa. Mittatulkki oli luonteeltaan mittalaite, joten sen on kyettävä tarpeeksi tasalaatuisiin mittauksiin, jotta mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia ja tarkkoja. Tätä varten on olemassa MSA-menetelmä, jonka avulla voidaan tutkia mittausprosessia sekä arvioida mittausvirheiden suuruutta. Järjestelmän käyttöönotossa pyrittiin siihen, että prosessin mittadataa kyettäisiin seuraamaan ja siitä kyettäisiin tekemään tarvittavat analyysit.

Stera käyttää laadunhallinnassa IATF 16949 -laadunhallintajärjestelmää, jonka laatuvaatimukset ovat huomattavasti tiukemmat kuin yleisesti käytössä olevalla ISO-9001 laadunhallintastandardilla. Standardi edellyttää tuotantoprosessin jatkuvaa seuraamista, jonka tavoitteena on jatkuvan parantamisen mahdollistaminen sekä vähentää vaihtelua ja jätteiden määrää toimitusketjussa. (Hämäläinen 2018)

4.1 IATF 16949 -Laadunhallintajärjestelmä

IATF 16949 -laadunhallintajärjestelmän tarjoaa työkalut ja ohjeistuksen, jonka avulla toimittajat voivat varmistaa, että heidän tuotteensa täyttävät asiakkaan asettamat laatuvaatimukset. Standardi laajentaa ISO-9000 standardiperhettä. Standardia ei voi ottaa käyttöön yksinään vaan se pitää ottaa käyttöön yhdessä ISO-9001 standardin kanssa.

IATF16949 määrittelee useita työkaluja, joilla voidaan seurata tuotantoprosessia sekä varmistaa valmistettavien tuotteiden riittävä laatu. Standardin määrittelemiä ydintyökaluja ovat: PPAP- tuotteiden hyväksyntä ja laadun suunnitteluprosessi, MSA- mittausjärjestelmän analysointi sekä SPC- tilastollinen prosessin ohjaus. Tuotteiden hyväksyntäprosessin tavoitteena on varmistaa, että toimittaja on ymmärtänyt suunnittelun ja spesifikaatioiden vaatimukset sekä toimittajan prosesseilla on kyky tuottaa spesifikaatioiden mukaisesti tuotteita. Hyväksyntäprosessi koostuu 18 eri elementistä jotka asiakas voi vaatia toimittajalta ennen tuotteiden hyväksyntää tuotantoon. Kaikkia elementtejä ei kuitenkaan vaadita aina, toimeksiannon kannalta jo mainitut SPC ja MSA olivat keskeisimmät elementit. (Hämäläinen 2018)

4.2 Mittausjärjestelmän analysointi

MSA-menetelmä on luotu mittauksista saatavan datan reliabiliteetin nostoa varten. Mittaustuloksia analysoitaessa on hyvin tärkeää, että mittaus on jäljitettävissä sekä toistettavissa. MSA:n merkityksen huomaa, kun samaa kappaletta mitataan useamman kerran ja saadaan erilaisia mittaustuloksia jokaisella kerralla. (MSA 2010, 73-75)

MSA:n referenssi manuaalista löytyy hyvä ohjeistus asioista, joihin on kiinnitettävä huomiota mittauslaitetta suunnitellessa. Toimeksiannon toteutusta varten huomioitiin erityisesti seuraavat asiat: tarkka kalibrointi, mittauslaitteen virheet, turvallisuus, mittausprosessin variaation aiheuttajien tunnistaminen, datan tallentaminen, sekä käyttäjäohjeistus. Myöskin muut variaation aiheuttajat pyrittiin tunnistamaan. (MSA 2010, 37-39)

MSA:n mukaisesti mittauslaitteelle on suoritettava analyysi, ennen kuin laite voidaan hyväksyä tuotantokäyttöön. Tämän analyysin perusteella arvioidaan, onko laitteen tarkkuus riittävä, jotta laite voidaan hyväksyä mittalaitteeksi. Analyysi toteutetaan vertaamalla mittaustuloksia tarkemmalla mittalaitteella saatuihin.

Toimeksiannon kannalta mittaustulkin toimintaa seurattiin mittaamalla samaa kappaletta usean kerran saman käyttäjän toimesta sekä eri käyttäjien toimesta. Tuloksia verrattiin keskenään ja selvitettiin, että ovatko saman kappaleen mittaustulokset kuinka samansuuntaisia. Tuloksia verrattiin myöskin 3D-skannaamalla saatuihin arvoihin. Tarkemman analyysin suorittamista ei käsitellä tässä opinnäytetyössä aiheen laajuuden vuoksi.

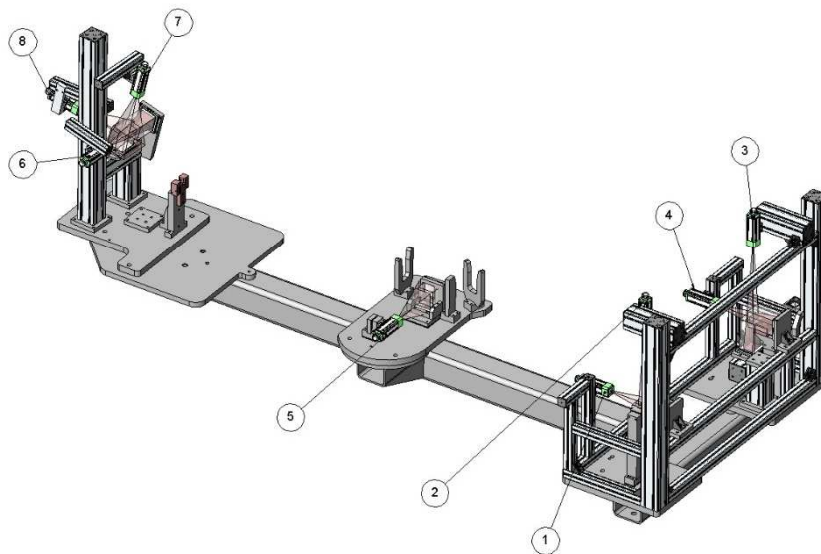
4.3 SPC- tilastollinen prosessinohjaus

Tilastollisella prosessinohjauksella tarkoitetaan sitä, että prosessista saatavalla datalla pyritään ohjaamaan prosessin kehityssuuntaa niin, että virheiltä välttyttäisiin ennen kuin ne esiintyvät. Tilastollinen prosessinohjaus on keskeinen osa jatkuvaa parantamista ja laadunvarmistusta. Tyypillisesti prosessista saatava data jää tiettyjen raja-arvojen väliin, mikäli erityisiä variaation aiheuttajia ei ole tunnistettu. Normaaleja variaation aiheuttajia ovat esimerkiksi lämpötilan muutokset, mittausvariaatio sekä laitteiden kuluminen. Eri-tyisiä variaation aiheuttajia ovat esimerkiksi hajonneet laitteet, prosessimuutokset sekä

kokemattomat käyttäjät. Tuotantoprosessin jatkuvalla seuraamisella kyetään havaitsemaan virheet ennen kuin tuotteet toimitetaan asiakkaalle ja varmistamaan, että tuotteet täyttävät asiakkaiden laatuvaatimukset. (Salomäki 2003, 166 & 192-193; Quality-One 2018, Statistical Process Control)

5 MITTAUSPÖYTÄ

Konenäköjärjestelmä rakennettiin mittauspöytään, jota myös rakennettiin osana toimeksiantoa. Mittauspöytä oli pituudeltaan noin kolme ja puoli metriä sekä leveydeltään puolitoista metriä. Runko rakennettiin käyttäen minitec-alumiiniprofiilia, muut pinnat mittauspöytää varten tehtiin joko alumiinista tai teräksestä koneistamalla. Koko järjestelmä rakennettiin nostopöydän päälle kiinnitettynä neliön muotoiseen teräsputkeen. (Kuva 22.) Tämän lisäksi konenäköjärjestelmää varten rakennettiin laitekaappi, joka kiinnitettiin mittauspöytään. Lisäksi mittauspöydän käyttämistä varten koneistettiin ja 3D-tulostettiin laipan päähän mitta-apukappale, jota käytetään hyödyksi laipan rotaation ja position määrittämisessä, sekä valmistettiin laatikko, joka asettaa laipan oikeaan asentoon kuvaamista varten.



Kuva 22. Mittaustulkki sekä kameroiden paikat

Mittauspöytä kiinnitettiin nostopöytään, joka auttaa sopivan työskentelykorkeuden löytämiseen sekä helpottaa tuotteen nostamista tulkkiin mittauksia varten. Lisäksi mittaustuloksiin kuvasta poiketen rakennettiin toinen runkorakenne suojaamaan kameroita, sekä kiinnitys näytölle, jota käytetään mittaustulosten visualisointiin.

5.1 Mekaaniset ratkaisut

Mittauspöydästä on hyvä tuoda esille muutama ratkaisu, jotka on päädytty tekemään konenäkökameroiden kuvaamista avustaviksi, tai mittaamista helpottaviksi. Kyseessä oli ainutlaatuinen tuote, joten aikaisempia referenssejä suunnittelussa ei käytännössä ollut mahdollista käyttää. Tämän takia mittauspöytään jouduttiin tekemään joitain muutoksia rakennusvaiheessa, kun ratkaisut eivät toimineet toivotunlaisesti.

Keskellä sijaitsevan kameran piti käyttää hyödyksi vain yhtä peiliä ja valoa, jonka avulla tuotteen kuvaaminen onnistuisi sekä sivusta, että alhaalta. Ratkaisu ei toiminut toivotunlaisesti, koska peilin kautta tehtävän mittaus tarvitsi omat referenssipisteet, jotka näkyvät peilillä. Taustavaloa vasten näkyviä referenssipisteitä ei voi käyttää, koska peilillä näkyvä position muutos on erisuuruinen mitä reaali maailman muutos on valon taittumisesta johtuen. Asian korjaamiseksi keskikannakkeen kuvauspisteeseen lisättiin toinen peili, jonka tehtävänä oli taittaa valo referenssipisteiden läpi peilille. (Kuva 23.)



Kuva 23: Huonoksi todettu peiliratkaisu

Kyseinenkään ratkaisu ei toiminut niin hyvin kuin sen olisi pitänyt, referenssireiät näkyivät huonosti kameralla sekä peilissä näkyvä heijastus kiinnikkeen reunasta oli liian himmeä tarkan position määrittämistä varten. Lopulliseen versioon jouduimme lisäämään yhden valon kannakkeen yläpuolelle ja poistamaan toisen peilin. Valo kiinnitettiin lineaarijohteella liikkuvaan kelkkaan, jonka avulla valo voidaan liikuttaa pois kannakkeen yläpuolelta, kun tuotteita nostetaan mittaustulkkiin.

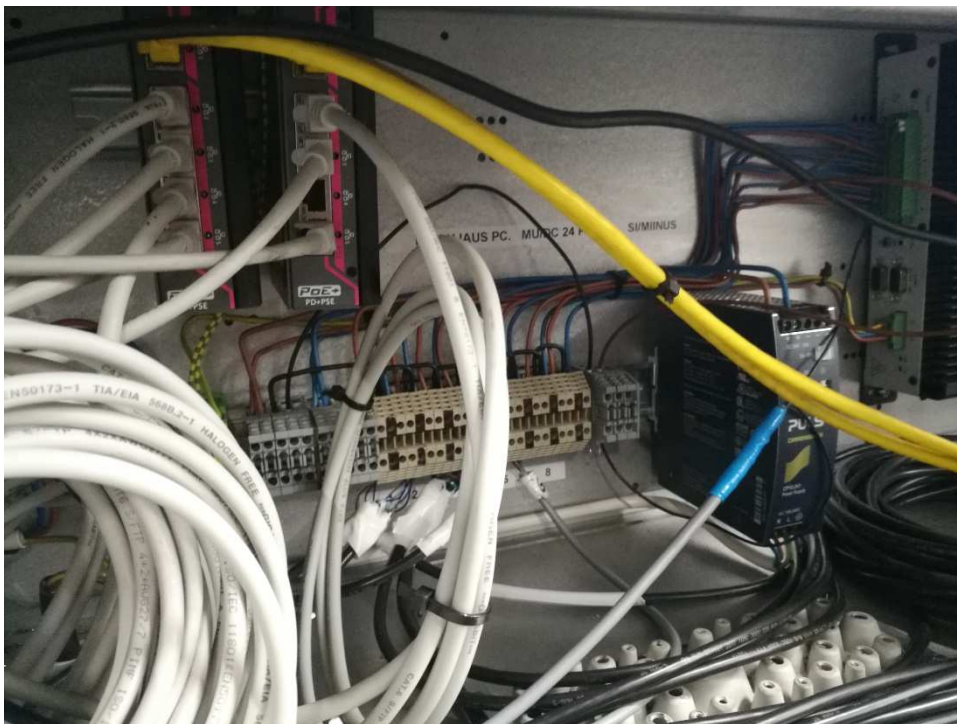
Mittauspöytään myös tehtiin tarvittavat läpiviennit kaapeleita varten, joiden avulla johdot ja kaapelit saatiin vedettyä siististi rungon sisään suojaan ja kiinnitettyä laitekaapilla oleviin kytkimiin ja riviliittimiin.

Oikean puolen takakannakkeen kuvaamista varten asennettiin keinuva taso, jonka avulla tuote asettuu aina mahdollisimman luonnollisesti oikeaan asentoon kuvausta varten. Tasoon ei keinuvaan kohtaan asennettiin referenssiksi tappi, jota käytetään kannakkeen kulman määrittämisessä.

Laipan kuvausta varten luodut referenssipisteet asettuvat kuvauksen kannalta sellaiseen asentoon, että tuotteita ei voida kuvata, mikäli referenssipisteet ovat koko ajan näkyvissä kameran kuvaussensorilla. Tästä syystä laipan referenssipisteitä käytettiin hyödyksi vain kalibrointia tehdessä ja sen jälkeen ne poistettiin mittauspöydästä, kuitenkin niin, että ne saadaan nopeasti takaisin paikoilleen uudelleenkalibrointia varten.

5.2 Laitekaappi

Laitekaappi rakennettiin Steran omaan tuotantoon perustuvaan laitekaappiin. Laitekaappiin asennettiin kaikki konenäköjärjestelmän tarvitsemat laitteet. Konenäköä ohjaavana tietokoneena toimi Matrox 4SightGPM tietokone, joka sisältää integroidun logiikan. Logiikalla toteuttavia ohjauksia varten laitekaappiin asennettiin riviliittimet. Lisäksi kaappiin asennettiin kaksi kytkintä konenäkökameroiden liittämistä varten sekä virtalähde järjestelmää varten. (Kuva 24.)



Kuva 24: Laitekaapin sisältö

Laitekaappiin lisättiin myös pistorasia järjestelmään liitettävää näyttöä varten. Laitekaapille vedettiin myöskin Ethernet verkkoliitäntä, jotta data saataisiin tallennettua verkkokovalevylle.

5.3 Laitteiston suojaus ja muut turvatoimet

Mittauspöydän turvallisuus oli yksi keskeinen tekijä, joka piti ottaa huomioon mittauspöydän rakentamisessa. Mittauspöydässä tärkeintä on se, että mittauslaitteen tulokset pysyvät vertailukelpoisina ja luotettavina. Jotta tämä ehto toteutuu, täytyy kameroiden mahdollinen liikkuminen estää. Lisäksi mittapöydän valot tarvitsivat omanlaiset suojat.

Kameroiden turvallisuus oli ensisijaisesti tärkein asia, kun mittalaitetta lähdettiin rakentamaan. Mikäli kamerat pääsevät liikkumaan vaativat kamerat uudelleen kalibroinnin sekä säätämistä, jotta mittaustulokset saadaan taas halutunlaisiksi. Ongelma korjattiin rakentamalla erillinen runkorakenne mittauspöytänsä, joka ei ole kiinni samassa minitec-profiilista kasatussa runkorakenteessa. Tällä tavoin, vaikka nostettava kappale pääsisi osumaan runkoon, kameroilla on vähäisempi riski liikkua, kun iskun energia suuntautuu erilliseen runkorakenteeseen, joka ei pääse vaikuttamaan kameroiden runkorakenteeseen.

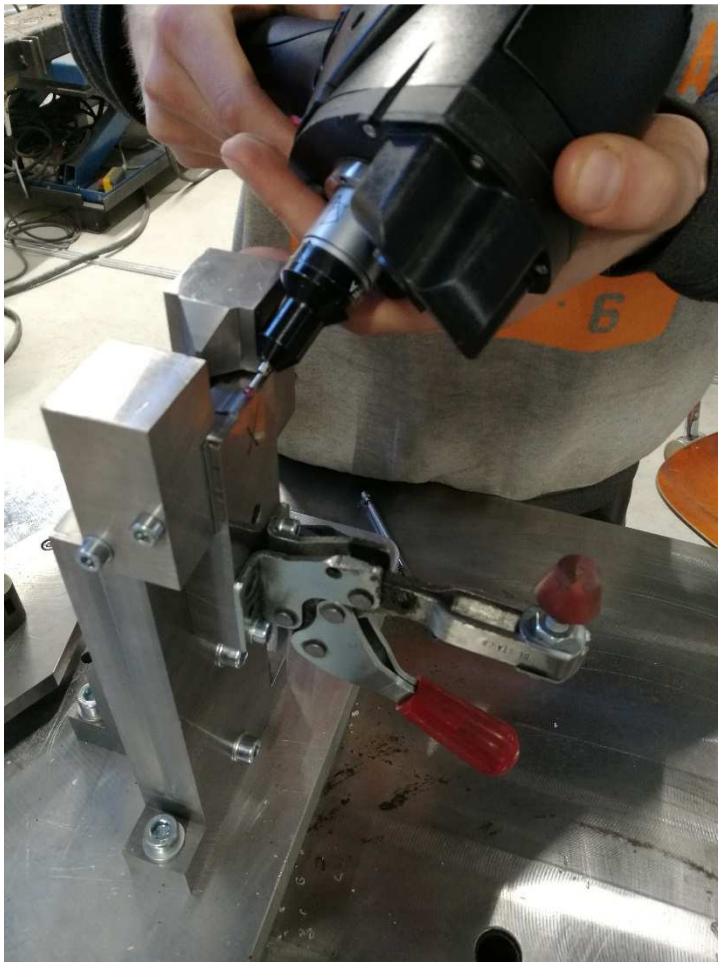
Kameroiden suojaksi tarvittiin myös pellistä taiteltu ja kasattu kotelo sekä suojalevyjä. Peltikotelon on tarkoitus toimia toisena kotelona kameralle, joka ottaa vastaan iskuista siirtyvän energiaa. Suojalevyt myös suojaavat kameroita mahdolliselta pistolta. Kappalletta mittauspöydälle nostettaessa on erittäin helppo pistää kannattimella jostain runkorakenteiden välistä kameroiden suojakoteloon tai valon pintaan. Suojarakenteet suunniteltiin niin, että tämä riski saataisiin eliminoidua mahdollisimman hyvin.

Käyttäjän kannalta käytettävät valot olisivat olleet hyvinkin häikäiseviä ja työturvallisuutta haittaavia, tämän takia valojen ohjaus toteutettiin siten, että valot ovat päällä vain kuvaushetken ajan. Kuvausprosessin kesto on kuitenkin sen verran lyhyt, että tällä tavalla valot eivät pääse aiheuttamaan suurta vaaraa. Valojen suojaukseen käytettiin joko metallista koneistettua suojakoteloa tai karkaistua lasia, joka pyrkii taittamaan valoa mahdollisimman vähän.

Profiilien päihin asennettiin suojalaput, jotka suojaavat käyttäjää teräviltä reunoilta.

5.4 Mittaus

Ennen mittauspöydän käyttöönottoa täytyi mittauspöytä mitata. MSA:n mukaisesti mitausprosessissa voi esiintyä vaihtelua myöskin itse mittauslaitteissa mitattavien kappa-leiden lisäksi. Koska mittauspöytä on massiivinen rakennelma, on pystyttävä varmista-maan, että kuvaustasot ovat niissä kohdissa, mihin ne ovat suunniteltu asettuvan. Tätä varten mittauspöytä mitattiin ja kuvaustasojen poikkeama selvitettiin ja korjattiin.



Kuva 25: Mittauspöydän mittaus

Mittaus suoritettiin käyttämällä Romerin valmistamaa absoluuttia käsivartta, joka oli va-rustettu laserskannerilla. Kuvassa 25 näkyy käsivarren päässä oleva mittauskärki, jolla selvitettiin mitattavien pintojen paikat. Kuvaustasot ja mitattavat pinnat myöskin 3D-skan-nattiin käyttämällä käsivarren laserskanneria. Luotu pistepilvi asetettiin 3D-mallin päälle ja selvitettiin kuinka kaukana tasot ovat niistä pisteistä missä niiden pitäisi olla. Samalla selvitettiin referenssipisteiden paikat halutussa koordinaatistossa.

6 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Toimeksiantoa toteutettiin rakentamalla mittaustulkki, joka käyttää hyödykseen konenäköä geometrisen kappaleen analysointiin. Kappale on geometrialtaan hyvin vaikeasti hitsattava, joten hitsausprosessissa saattaa aiheutua virheitä, jotka mittaustulkin pitäisi kyetä tunnistamaan. Tulkin tehtävänä on kuvata kannakkeiden ja laipan positiota, rotaatiota sekä dimensioita. Konenäköjärjestelmän käyttöönotossa on otettu huomioon seuraavat asiat ja suoritettu käyttöönotto onnistuneesti.

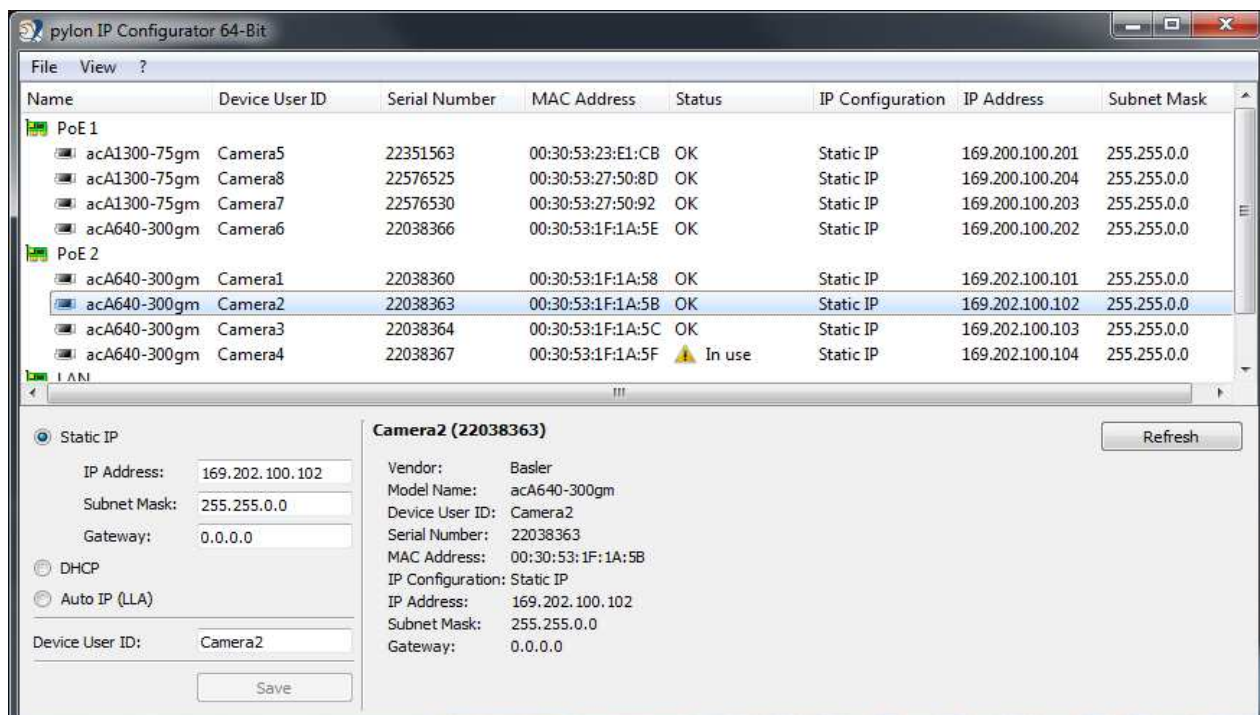
6.1 Kamerat

Työssä käytettiin 8 konenäkökameraa, joita käytettiin kiinnikkeiden ja laipan asennon tunnistamiseen ja mittaukseen. Lopulliseen versioon kuitenkin poistettiin yksi kamera järjestelmästä. Käytetyt kamerat olivat mustavalko matriisikameroita. Kameroita oli kahdenlaisia, VGA-resoluutiolla varustettuja sekä SXGA-resoluutiolla. Kaikki kamerat olivat varustettuja GigE liitännällä helppoa käyttöönottoa varten. Kamerat asennettiin suojakoteloon, jonka tarkoitus on suojata kameraa kolhuilta. (Kuva 26.)



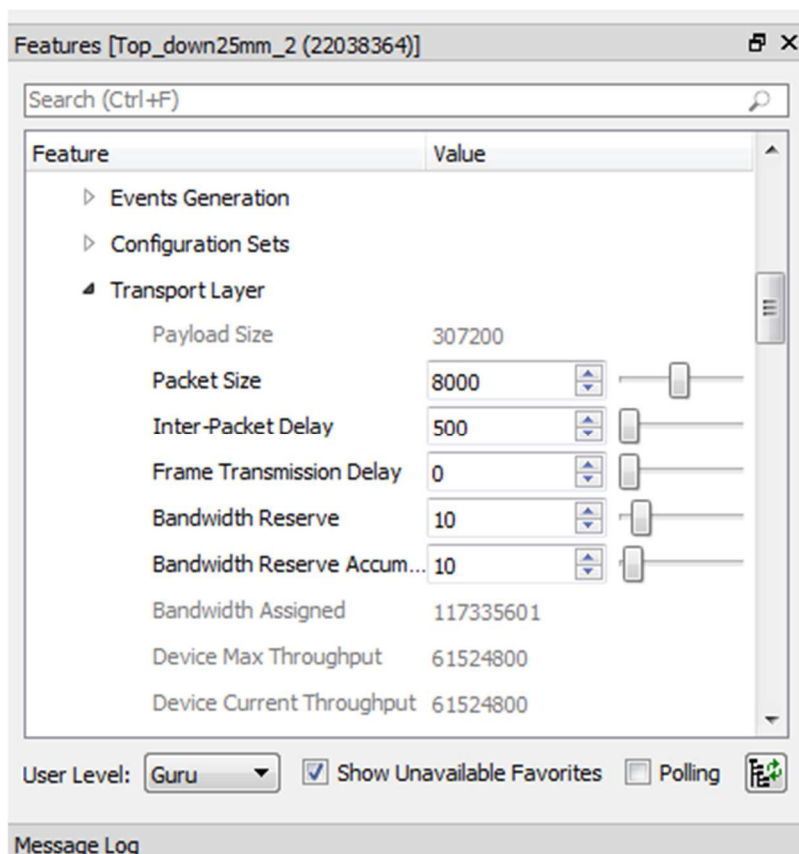
Kuva 26. Konenäkökamerat odottamassa asennusta suojakoteloihin

Kameroiden käyteenotto alkoi asettamalla Matrox 4SightGPM tietokoneen BIOS asetuksista Power over Ethernet asetus päälle. Kameroiden tunnistamista varten jokaiselle kameralla määrättiin oma uniikki IP-osoite, jota käytetään hyödyksi kameralle kommunikoitaessa. IP-osoituksen määrittäminen tehtiin Pylon IP configurator työkalua hyväksi käyttäen. (Kuva 27.)



Kuva 27. Kameroiden IP- ja MAC-osoitteet

Tämän lisäksi Pylon Viewer ohjelmistolla määriteltiin kuljetuskerroksen asetuksista lähetettävien pakettien koko 8000 tavuun ja pakettien välinen viive 4 mikrosekuntiin. Tällä tavalla välttyttiin pakettien katoamiselta ja väylän tukoksilta. (Kuva 28.)



Kuva 28. Kameroiden kuljetuskerroksen asetukset

Käytettävien PoE kytkimien IPv4 osoitteet muutettiin muotoon 169.200.0.0 ja 169.202.0.0 sekä käytettiin Matrox 4SightGPM:n mukana tulevaa OSConfig konfigurointi ohjelmaa, joka asetti verkkokortin asetukset konenäköjärjestelmälle sopivaksi.

Kameroiden IP-osoituksessa esiintyi ongelmia, yhteys kameroihin katkesi aina välillä ja syy siihen löytyi siitä, että sattumanvaraisesti jonkin konenäkökameran IP-osoite muuttui, vaikka kameroille oli määritetty pysyvä IP-osoite. Tämän takia kameroiden osoitteistus päädyttiin toteuttamaan MAC-osoitteen perusteella, joka ei muutu itsestään.

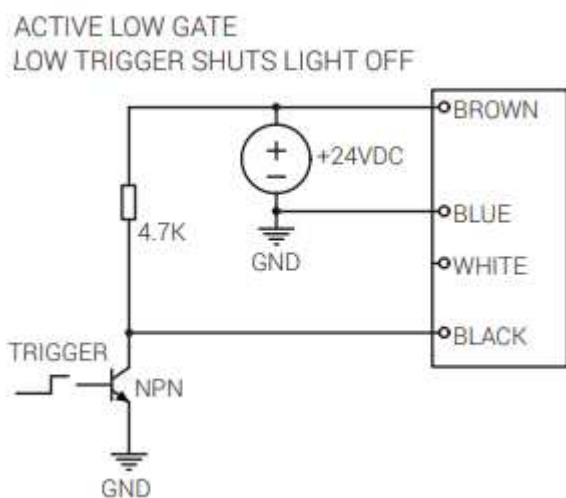
Kameroissa käytettiin entosentrisiä optiikoita, joiden linssi oli joko 12 mm, 16 mm tai 25 mm. Syy usean erilaisen optiikan käyttöön oli mittausetäisyydessä. Lähes jokainen kamera oli omalla kuvausetaisyydellään, joten optiikka tarvitsi optimoida sen mukaisesti. Optiikkana toimi Baslerin C125 sarja. Optiikoissa oli mahdollista säätää aukkoa sekä tarkennusta. Optiikoihin kiinnitettiin Midwest Optical Systemsin BP635 kaistanpäästösuoja, joka päästää läpi vain punaisen valon aallonpituudelta 615-645 nm.

6.1.1 Valaistus

Mittaustulkissa käytettiin yhteensä yhdeksää valaisinta. Kahdeksan valaisimista olivat taustavalaja, joita käytettiin kannakkeiden valaisuun. Tämän lisäksi käytettiin yhtä rengasvaloa laipan valaisemiseen.

Koska käytetyn tietokoneen integroidussa logiikassa oli vain 8 lähtöä ja lähtöjä piti jättää vapaaksi tulevaisuuden laajennuksia varten, piti valaisimet ryhmitellä niin, että useampi valo kytkeytyy päälle samasta logiikan lähdöstä. Lopullinen ryhmittely toteutettiin niin, että valot jaettiin kolmeen kahden valon ryhmään ja loput valot kiinnitettiin yksinään logiikan lähtöihin. Tämän toteutuksen avulla tietokoneeseen jäi vapaaksi kaksi lähtöä, mikäli tulevaisuudessa on tarvetta lisätä vielä muita ohjattavia laitteita mittaustulkkiin.

Valojen kytkentä toteutettiin NPN-ohjauksella. NPN-ohjauksessa valoja ohjataan maan kautta. NPN-ohjaus tarvitsee lisäksi vastuksen, jonka avulla tietokoneen I/O:lle syötettävä jännite saadaan alle 100mA, jotta sisäinen kertakäyttösulake kestäisi. (Matrox 2014, 27-28)



Kuva 29. Valojen NPN-ohjaus (Advanced Illumination)

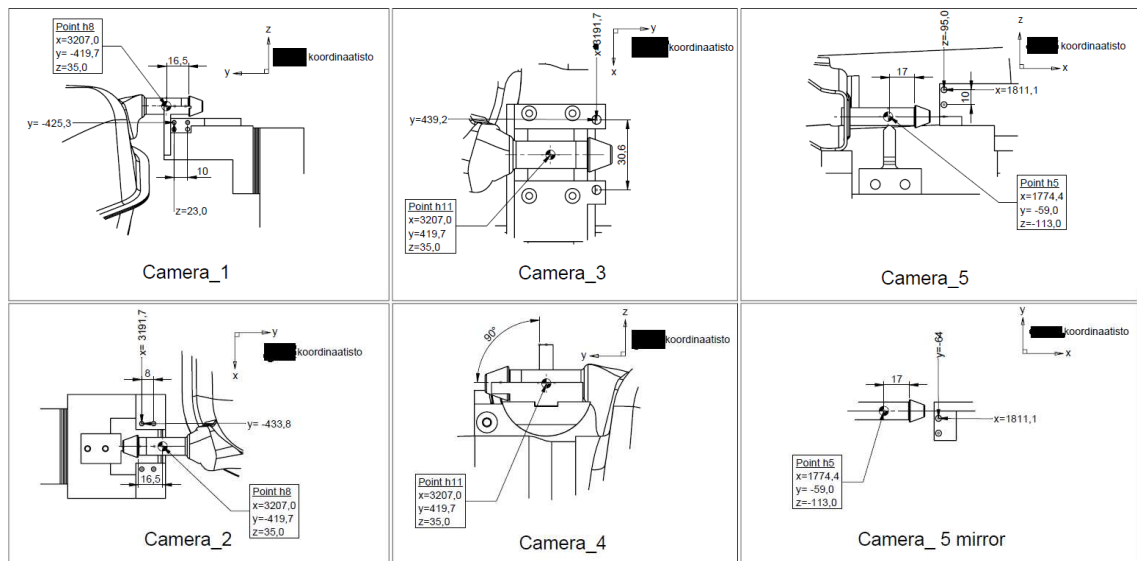
Virtalähteenä toimi Puls CP10.241, joka on suoraan DIN-kiskoon kiinnitettävä 1-vaihe virtalähde. Virtalähteen ulostulojännite on 24V ja maksimi kuormitus 10A. Virtalähteeltä tuleva 24V jännite ohjattiin laitekaapin riviliittimille. Valojen ohjausta varten riviliittimiin kiinnitettiin 4,7k ohmin vastus kuvan 29 mukaisesti.

6.1.2 Kalibrointi ja koordinaatistot

Kameroiden kalibrointi ja mittadatan esittäminen oikeassa koordinaatistossa oli toimeksiannon haastavin asia. Kalibrointia varten oli tiedettävä referenssipisteiden paikka sekä niiden välinen etäisyys. Hankalaksi asian teki se, että referenssipisteiden pitäisi olla samassa tasossa kuvattavan kohteen kanssa. Referenssipisteiden paikka piti selvittää halutussa koordinaatistossa, jossa mittadatakin haluttiin esittää, vasta sen jälkeen kameroista oli mahdollista saada luotettavia mittaustuloksia.

Referenssipisteiden luominen samaan tasoon kuvattavan kohteen kanssa oli haasteellista. Referenssipisteitä varten jouduttiin koneistamaan useita kappaleita ennen kuin saimme ne näkymään oikein kuvaustasossa. Koska kameroissa käytettiin entosentrisiä linsejä, jouduttiin referenssireiät vielä lankasahaamaan kartioksi, jotta ne näkyisivät ympyränä kameran kuvaussensorilla. Kalibrointia varten riitti se, että kuvaussensorilla näkyi kaksi referenssireikää ja tiesimme niiden välisen etäisyyden. Tämän jälkeen pikseleiden muuttaminen millimetreiksi oli helppoa.

Mittadatan esittäminen oikeassa koordinaatistossa oli hyvin vaikeaa. Kameran kuvaussensorilla tiesimme vain referenssipisteiden paikat halutussa koordinaatistossa mittatulkin 3D skannauksen jälkeen. Kaikki mittadata tuleeekin offset arvona referenssipisteistä, koska ne ovat ainoat pisteet, jotka ovat kiinteästi samassa tasossa kuvattavan kohteen kanssa. (Kuva 30.)

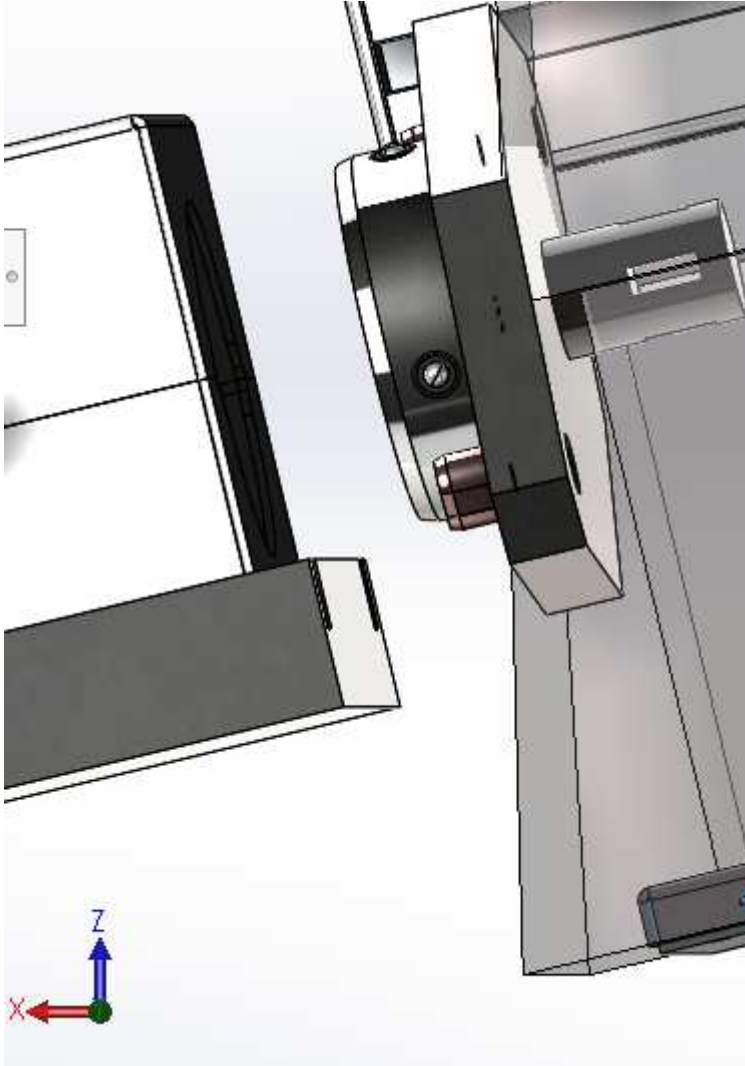


Kuva 30: Koordinaattiakselien hahmotus ja referenssipisteiden teoreettiset koordinaattiarvot (sensuroitu)

Mittadatan esittämistä varten piti vielä selvittää se, että minkä koordinaattiakseleiden rajaama tasoa kuvaamme. Kamera luo oman koordinaatistonsa aina siten, että positiivinen suunta x-akselille on oikealle ja y-akselille alaspäin. Tämä tarkoittaa sitä, että osa kameroiden koordinaatistoista piti kääntää, jotta koordinaattiakselit menevät oikeisiin suuntiin. Osassa koordinaattiakseleista positiivinen suunta jäi kuitenkin käänteiseksi, joka tarkoitti, että referenssipisteen arvot piti sen akselin kohdalla syöttää käänteisenä ja vasta tämän jälkeen kääntää koordinaattiakselin suunta.

Laipan kuvauksessa referenssipisteiden asettaminen siten, että ne näkyisivät aina kuvassa ja oikeassa tasossa ei ollut mahdollista. Referenssipisteet asennettiin ensin oikeaan kuvaustasoon ja suoritettiin kalibrointi. Kalibrointi jouduttiin lisäksi tekemään useassa eri tasossa, koska kuvattavat tuotteet eroavat laipan päädyistä erityisen paljon. Luodut kalibroitietiedostot asetettiin kameroille tuotekohtaisesti. Koska referenssipisteet eivät ole aina kuvassa näkyvissä, kamerat eivät kykene suorittamaan itsekalibrointia. Tämän johdosta, mikäli laipan kuvaukseen tarkoitetut kamerat pääsevät liikkumaan kamerat vaativat uudelleenkalibroinnin.

Laippaa kuvatessa kuvaustaso ei asetu minkään koordinaattiakselin mukaisesti, jonka mukaan mittadata haluttaisiin esittää. Tästä syystä kameroilta saatava mittadata pitää kääntää oikeaan koordinaatistoon.

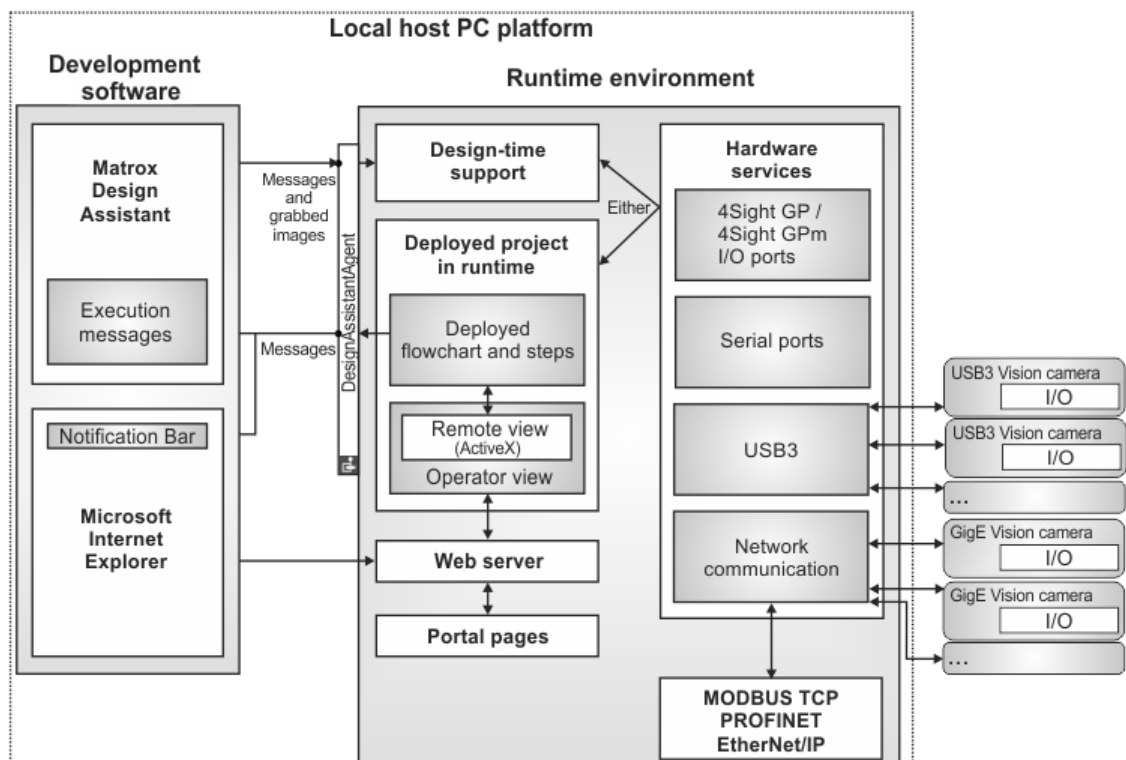


Kuva 31: Laipan vinossa oleva kuvaustaso

Kuvan 31 projektio on y-akselin mukaisesti. Kuvasta nähdään selkeästi, että laipan kuvaustaso ei kulje minkään koordinaattiakselin mukaisesti. Tästä syystä kameralta saatava mittadata pitää muuttaa oikeaan koordinaatistoon. Se onnistuu trigonometrian avulla. Kameran kuvaavat laippaa kohtisuoraan ylhäältä ja edestäpäin. Kun laipan kiertymät eri koordinaattiakseleiden mukaan tiedetään, voidaan laskea koordinaattipisteiden translaatio toiseen koordinaatistoon.

6.2 Ohjelmisto

Kameroiden ohjaamiseen, valojen ohjaukseen ja kuvien analysointiin käytettiin Matrox Design Assistant ohjelmaa. Design assistantin toiminta perustuu vuokaavio rakenteseen, joka on lista peräkkäisistä toiminnoista, jonka perusteella kamera tietää ottaa kuvan, analysoida sen ja lähettää informaatiota eteenpäin sekä operaattorille, että kirjoittaa saadut tulokset ylös CSV tiedostoon. Toteutus otettiin käyttöön local host -toimintaperiaatteella. (Kuva 32.)

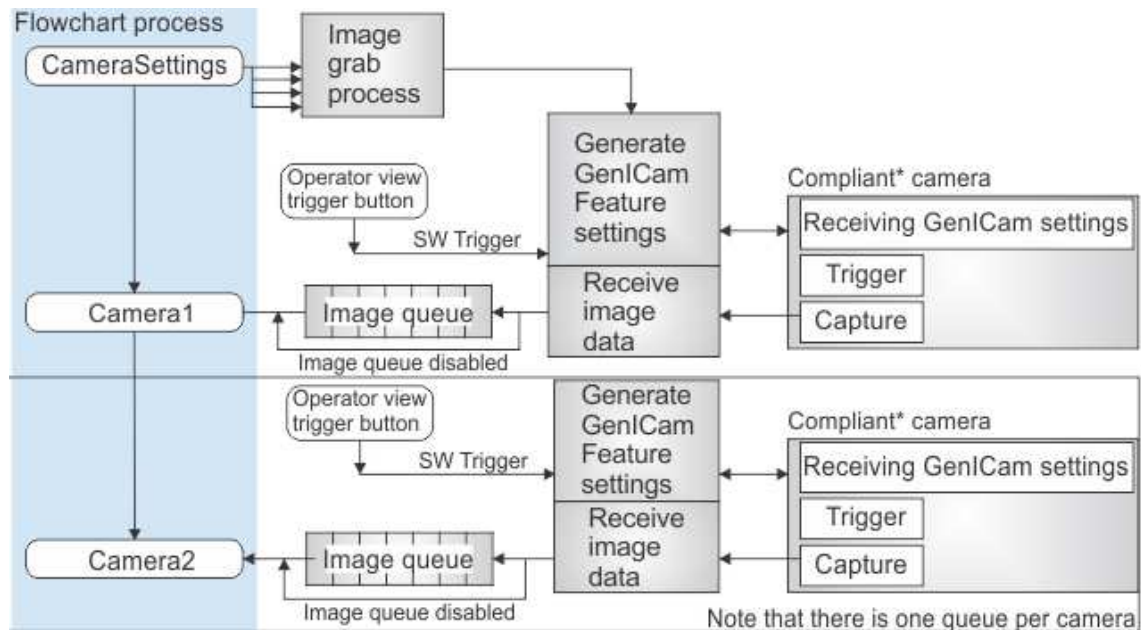


Kuva 32. Local host -toimintaperiaate (Matrox Imaging)

DA ohjelmiston käyttö konenäköjärjestelmissä jakautuu kolmeen erilliseen ympäristöön, jotka kokonaisuutena muodostavat järjestelmän. Ohjelmiston kehitys tehdään DA ohjelmistossa, operaattorikäyttöliittymä toimii internet explorer selaimessa ja runtime ympäristössä suoritetaan DA:lla luotua konenäköohjelmaa. Ohjelmistokehityksestä vastasi Lateral Engine Oy.

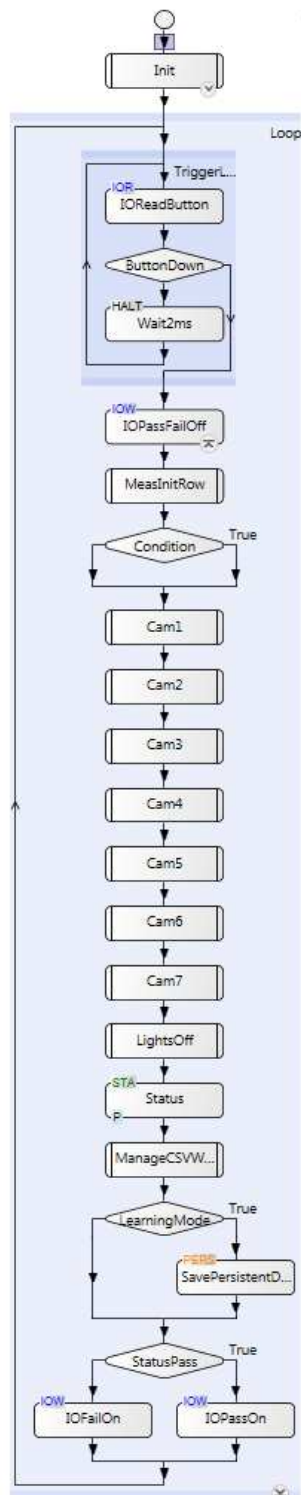
6.2.1 Ohjelmiston toiminta

Konenäköjärjestelmää varten luotu ohjelma koostui päävuokaaviosta ja useista alivuokaavioista. Päävuokaavio koostui kamera kohtaisista alivuokaavioista, CSV tiedoston hallintaan liittyvistä, sekä alustuksesta, jossa kaikki valot sammutetaan ja ohjelma jää odottamaan signaalia kuvausprosessin aloittamiseen.



Kuva 33. Kuvauksen toimintaperiaate (Matrox Imaging)

Kuvassa 33 on esitetty kameroiden toiminta kuvauksen aikana. CameraSettings askel voidaan ohittaa, mikäli ohjelman toimiessa ei haluta jokaisella kuvauskierroksella määrittellä kameran ominaisuuksia uudestaan. Tällöin kameran ominaisuudet määritellään ohjelmasta löytyvän platform configurator välilehdeltä, jonne myöskin lisättiin käytettävät konenäkökamerat, ennen kuin niitä voitiin käyttää ohjelmistossa. Tämän jälkeen ohjelma kääntää kameran ominaisuudet GenICam yhteensopiviksi ja alustaa kameran ennen jokaista kuvausta. Kameroiden liipaisu toteutettiin kuvasta poiketen Matrox 4SightGPM:n integroitua logiikkaa hyödyntäen eikä käyttöliittymässä. Kamerat odottavat logiikalle tulevaa liipaisusignaalia, joka lähetetään, kun käyttäjä painaa kuvausnappia. Ohjelmisto luo sitten tästä signaalista ohjelmistoliipaisun kameralle.



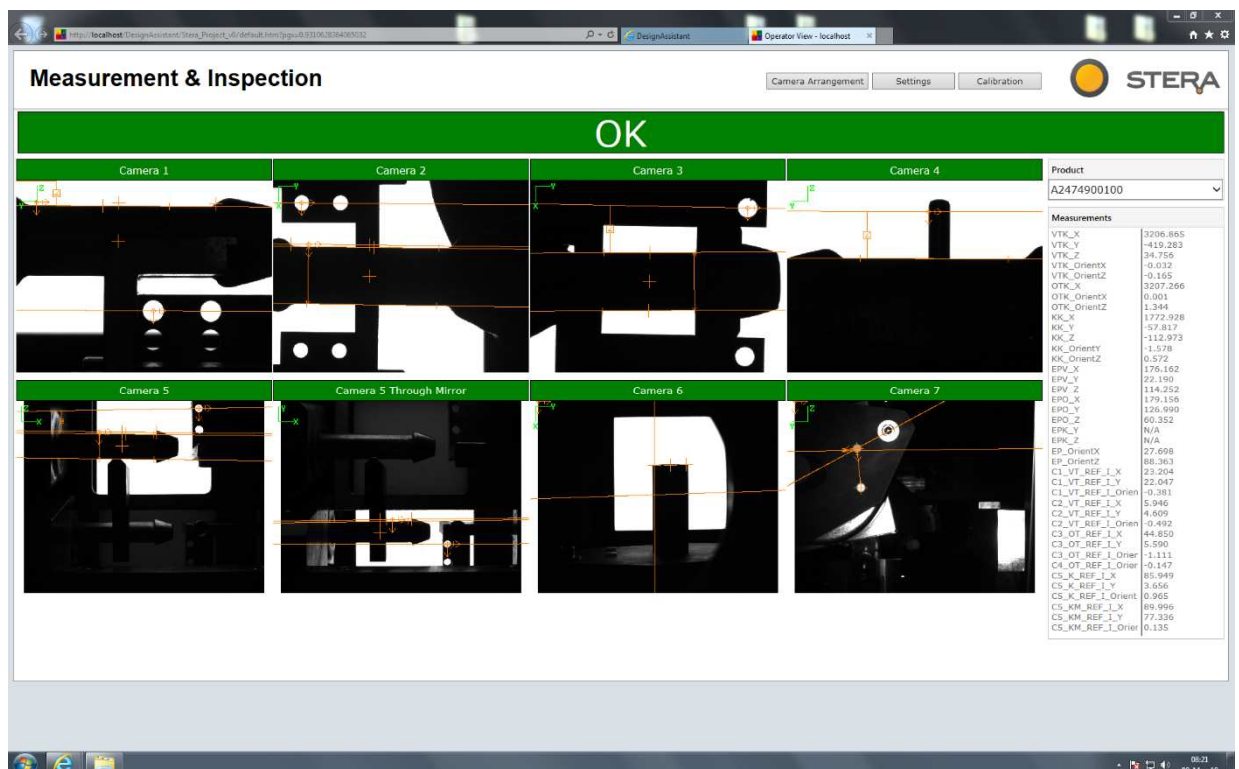
Kuva 34: Päävuokaavio

Päävuokaavion alivuokaaviot koostuivat vielä useista alivuokaavioista. Ohjelman kehitys Matroxin Design Assistant ohjelmalla osoittautuikin työlääksi tämän kokoluokan konenäköjärjestelmälle. Ohjelma käy läpi järjestelmän jokaisen kameran yksitellen, ottaa

kuvan, analysoi sen ja tallentaa tulokset CSV tiedostoon. (Kuva 34.) Ohjelmaan on myös luotu toiminnallisuus, joka mahdollistaa golden samplen käytön järjestelmän opettamiseen, kuvien tallennus sekä kamerat on laitettu suorittamaan itsekalibrointia jokaisella kuvauskerralla, kun ne etsivät referenssipisteitä.

6.3 Käyttöliittymä

Operaattorikäyttöliittymä pyrittiin tekemään selkeäksi ja käyttäjäystävälliseksi. Käyttöliittymä koostuu neljästä välilehdestä. Measurement & Inspection, jota käytetään kuvien visualisointiin sekä mittaustulosten esittämiseen. Settings, jossa voidaan määritellä toleranssialue, nimellisarvot ja kuvien tallennus, sekä mahdollisuus opettaa golden sample. Calibration, missä voidaan määritellä kamerakohtaisesti kalibrointitiedot sekä Camera Arrangement välilehti, jossa on kuva mittatulkista sekä kameroiden paikat numeroituna. (Kuva 35.)



Kuva 35: Operaattorikäyttöliittymä jossa näkyy saadut mittatulokset ja kuvat

Käyttöliittymässä käyttäjä valitsee ensin kuvattavan tuotteen tuotenumeron perusteella (product valikko), jonka perusteella ohjelma valitsee tuotteelle sopivan kuvausreseptin. Kuvattavia tuotteita oli 19 ja mittaustulokset haluttiin eritellä tuotekohtaisesti. Tämän jälkeen käyttäjä painaa liipaisinta ja mittaustulkki kuvaa tuotteen. Käyttäjälle ilmoitetaan joko punaisella NOK tulokset tai vihreällä OK tulokset. Kaikkien kameroiden pitää antaa hyväksytty tulos, jotta tuote voidaan hyväksyä. Mikäli näin ei käy niin kamera ei joko ole löytänyt referenssipisteitä tai sitten kuvattava kohde ylittää toleranssialueet. Kuviin piirretään myös grafiikat näyttämään löydetty piirteet.

7 LOPUKSI

Konenäkömittajärjestelmä saatiin toimimaan halutulla tavalla. Mittalaitteelta saatavat tulokset ovat lähellä niitä arvoja, jotka tuotteista saadaan 3D-skannaamalla. Koska käytetyillä kameroilla ei päästä yhtä tarkkoihin mittauksiin kuin 3D-skannauksella, niin pienet heitot tuloksissa ovat hyväksyttäviä. Mittatuloksien kehitystä tullaan seuraamaan tilastollisen prosessinohjauksen ja mittausjärjestelmän analysoinnin merkeissä.

Mittauksista kaikki muut onnistuvat hyvin, paitsi laipan mittauksessa on epävarmuustekijöitä, minkä takia tuloksiin tulee heittoa. Epävarmuustekijät liittyvät epätarkkaan kalibroiintiin, joka suoritettiin kuva-alueen reunalla olevien referenssipisteiden avulla. Tämän korjaamiseksi referenssipisteen paikka tullaan siirtämään keskelle kuva-aluetta, jotta vääristymä olisi vähäisempi. Toinen epävarmuustekijä liittyy laipan kuvaamisessa käytettävään laatikkoon. Kyseinen laatikko sallii liian paljon välystä, jolloin luotettavien mittatulosten saaminen laipasta on haasteellista. Kolmas epävarmuustekijä johtuu siitä, että laipan kuvaustaso ei ole minkään koordinaattiakselin suuntainen ja mittatulokset pitää kääntää oikeaan koordinaatistoon, joka on riippuvainen siitä, kuinka tarkasti kuvaustason kiertymä koordinaattiakseleiden ympäri saadaan selvitettyä.

Mittalaitetta tullaan kehittämän tulevaisuudessa niin, että mittaustulokset saataisiin tarkemmiksi ja epävarmuustekijät saataisiin poistettua mittausprosessista.

LÄHTEET

Abramson & Balasubramanian 2014. Base Line Text for IEEE 802.3BT. Viitattu 26.5.2018.

http://www.ieee802.org/3/bt/public/may14/abramson_01_0514.pdf

Axis Communications 2010. CCD and CMOS sensor technology. Viitattu 26.5.2018

https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf

Canon Europe 2018. Capturing the image CCD and CMOS sensors. Viitattu 12.3.2018

http://cpn.canon-europe.com/content/education/infobank/capturing_the_image/ccd_and_cmos_sensors.do

Cognex 2018. Introduction to machine vision. Viitattu 25.3.2018

https://www.assemblymag.com/ext/resources/White_Papers/Sep16/Introduction-to-Machine-Vision.pdf

EMVA 2018. Viitattu 20.3.2018

<http://www.emva.org/standards-technology/genicam/genicam-introduction/>

Fermum, L. 2018. CCD sensors, Viitattu 14.2.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/camera-technology-basics/ccd-sensors.html>

Fermum, L. 2018 Entocentric lenses. Viitattu 27.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/entocentric-lenses.html>

Fermum, L. 2018 IR illumination. Viitattu 25.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/ir-illumination.html>

Fermum, L. 2018, Laser illumination. Viitattu 25.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/laser-illumination.html>

Fermum, L. 2018 LED illumination. Viitattu 25.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/illumination-types/led-illumination.html>

Fermum, L. 2018. Resolution of sensors. Viitattu 13.2.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/camera-technology-basics/resolution-of-sensors.html>

Fermum, L. 2018. Selection of the appropriate optics. Viitattu 20.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/optics.html>

Fermum, L. Telecentric lenses. Viitattu 27.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/telecentric-lenses.html>

Fermum, L. 2018. Use of filters. Viitattu 26.5.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/use-of-filters.html>

Fermum, L. UV illumination. Viitattu 25.3.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/uv-illumination.html>

Fermum, L. 2018. Vision sensors & intelligent cameras. Viitattu 26.5.2018

<http://www.vision-doctor.com/en/smart-cameras.html>

GenApi 2016. Viitattu 20.3.2018

http://www.emva.org/wp-content/uploads/GenICam_Standard_v2_1_1.pdf

GenCP 2016. Viitattu 20.3.2018

http://www.emva.org/wp-content/uploads/GenICam_GenCP_1.2.pdf

GenTL 2015. Viitattu 20.3.2018

http://www.emva.org/wp-content/uploads/GenICam_GenTL_1_5.pdf

GigE Vision 2013. Viitattu 15.3.2018

<https://www.visiononline.org/vision-standards-details.cfm?id=168&type=5>

Hämäläinen, H. 2018. Stera IATF-16949 koulutusmateriaali. Vain sisäiseen käyttöön.

IEE802.3.2015 Saatavilla: IEEE GET Program

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7428776/>

IEE802.3an. Saatavilla: IEEE GET Program

<https://ieeexplore.ieee.org/browse/standards/get-program/page/>

Li, L. 2014. Time of Flight camera – An introduction. Viitattu 16.3.2018

<http://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf>

Matrox 2014. Matrox 4Sight GPM Installation and Hardware Reference. Viitattu 12.3.2018.

http://www.nip.co.kr/wp-content/uploads/2015/04/m_Imaging-PC_4Sight-GPM.pdf

Midwest Optical Systems 2013. Viitattu 26.3.2018

<http://media.oem.se/Archive/FilesArchive/103903.pdf>

MSA 2010. Measurement systems analysis. Viitattu 20.3.2018

http://dastmardi.ir/wp-content/uploads/2017/07/MSA_Reference_Manual_4th_Edition.pdf

OEM Automatic 2018. Teknistä tietoa LED valaistuksesta. Viitattu 25.3.2018

http://util.oem.se/pdf/Teknista_tietoa_LED-valaistuksesta_2451794-467114.pdf

Quality-One 2018. Statistical Process Control (SPC) Viitattu 26.5.2018

<https://quality-one.com/spc/>

Salomäki, R. 2003. Suorituskykyiset prosessit – hyödynnä SPC. 2., uudistettu painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET.

Simoneau, P. 2006. The OSI Model: Understanding the Seven Layers of Computer Networks. Viitattu 28.3.2018

http://ru6.cti.gr/bouras-old/WP_Simoneau_OSIModel.pdf

Simmons, M. Ethernet Theory of Operation. Viitattu 9.4.2018

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01120a.pdf>

Sneha, H.L. 2010. Pixel Intensity Histogram Characteristics: Basics of Image Processing and Machine Vision. Viitattu 26.5.2018

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/image-histogram-characteristics-machine-learning-image-processing/>

Stemmer Imaging 2018. CCD Sensor types. Viitattu 10.3.2018

<https://www.stemmer-imaging.co.uk/en/knowledge-base/ccd/>

Stemmer-Imaging 2018. Laser illumination. Viitattu 25.3.2018

<https://www.stemmer-imaging.co.uk/en/knowledge-base/laser-illumination/>

Thakur, D. 2018. MAC Layer - What is MAC Layer Protocols? Viitattu 9.4.2018

<http://ecomputernotes.com/computernetworkingnotes/communication-networks/describe-the-mac-layer-protocols>

Wilson, A. 2013. Machine vision the past the present and the future. Viitattu 13.2.2018

<https://www.vision-systems.com/articles/2015/06/machine-vision-and-image-processing-past-present-and-future.html>

Wilson, A 2009. Robot Guidance. Viitattu 16.3.2018

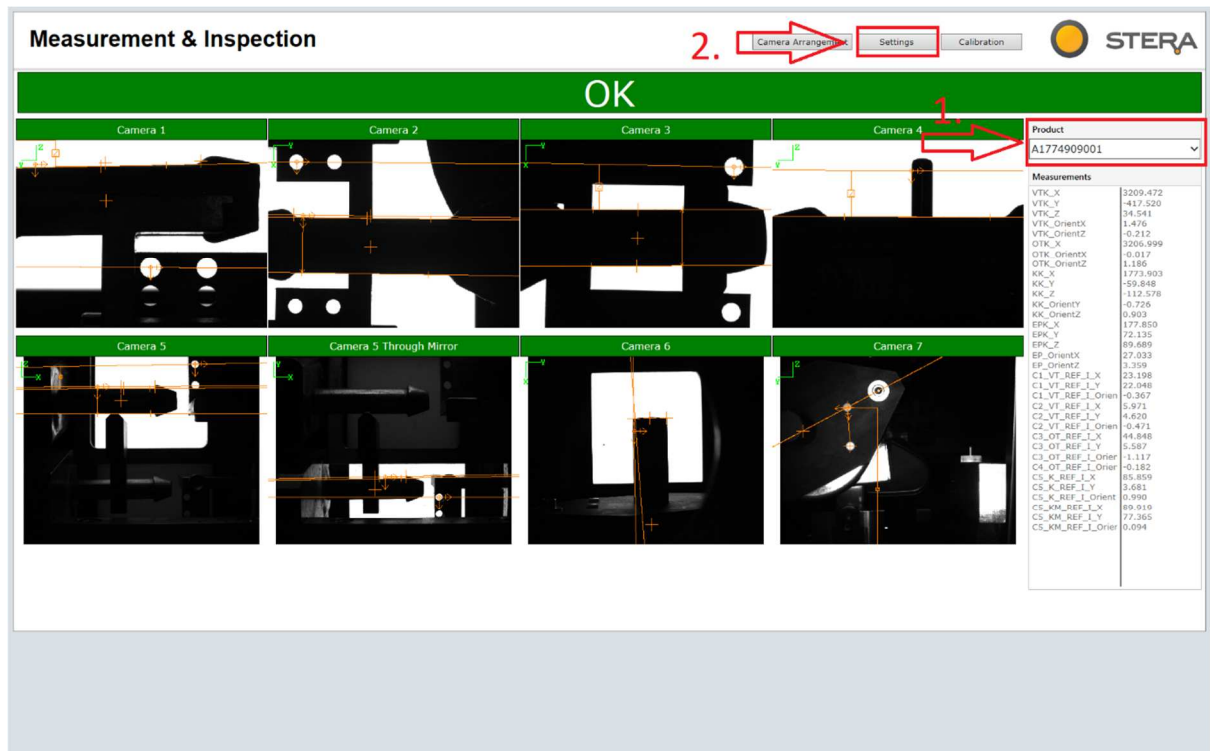
<https://www.vision-systems.com/articles/print/volume-14/issue-11/features/robot-guidance.html>

LIITTEET

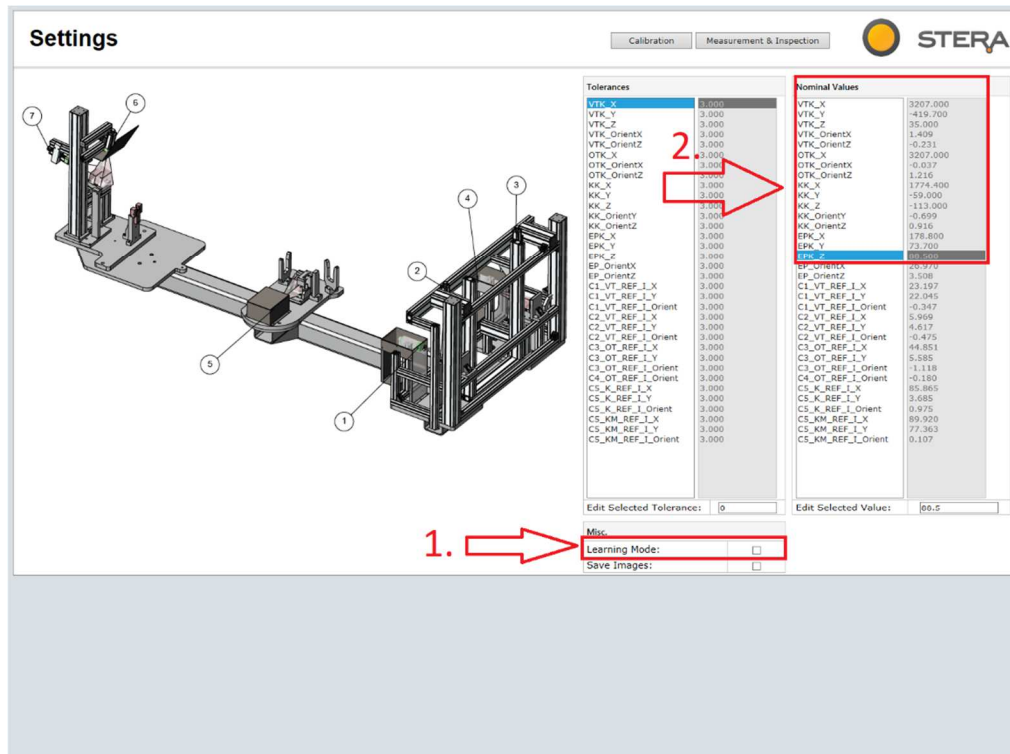
Mittatulkin käyttöohjeet

Mittatulkin käyttäminen vaatii ensiksi oikeiden asetusten asettamisen. Se onnistuu seuraavalla tavalla.

1. Selvitetään mikä on kuvattavan tuotteen tuotenumero ja valitaan oikea tuote Product valikosta.



2. Settings välilehdeltä tarkistetaan, että sinne on syötetty oikeat nimellisarvot. Mikäli ne eivät ole, (yleensä nollaantuu tuotenumeroa vaihtaessa, bugi) ne pitää muokata oikeiksi. Katso kohdat 3-6, muuten hyppää kohtaan 7
3. Aseta kuvattava tuote mittatulkkiin
4. Aseta mitta-apukappale laipan päähän ja laatikko, joka jäykistää laipan oikeaan asentoon kuvausta varten.
5. Laita settings välilehdeltä learning mode päälle ja ota kuva.
6. Ota learning mode pois päältä ja muokkaa nimellisarvot oikeiksi. (Learning moden käyttö ensin pakollista, arvojen syöttäminen suoraan ei toimi)



7. Tulkki on valmis käytettäväksi.

Tuotteiden nimellisarvot löytyvät työpöydältä löytyvästä koordinaatit.txt tiedostosta.

Työpöydälle pääset windows+d komennolla. EPK1 resepti 1 ja EPK2 resepti 2.

Koordinaatit

VTK

X=3207.0

Y=-419.7

Z=35.0

OTK

X=3207.0

KK

X=1774.4

Y=-59.0

Z=-113.0

EPK1

X=178.8

Y=73.7

Z=88.5

EPK2

X=99.5

Y=22.8

Z=100.7

Tuotteiden mittaus

Tuotteiden mittaus tapahtuu seuraavasti.

1. Aseta tuote tulkkiin, takapää kannattaa laittaa ensin kuvaustasolleen ja sen jälkeen vasta etupää.
2. Aseta tuotteen laipan päähän mitta-apukappale sekä laatikko jäykistämään laipan oikeaan asentoon kuvausta varten.
3. Aseta keskikannakkeen valo peilin yläpuolelle.
4. Lukitse nollapistekiinitys
5. Mikäli tuotteessa oikean puolen takakannakkeen alepuolinen valo ei kykene valaisemaan kannaketta käytä pientä valoa, jonka voi kääntää kannattamien alapuolelle.
6. Kuvaa tuote painamalla liipaisunappia.
7. Katso tulokset operaattorikäyttöliittymästä
8. Poista tuote tulkista

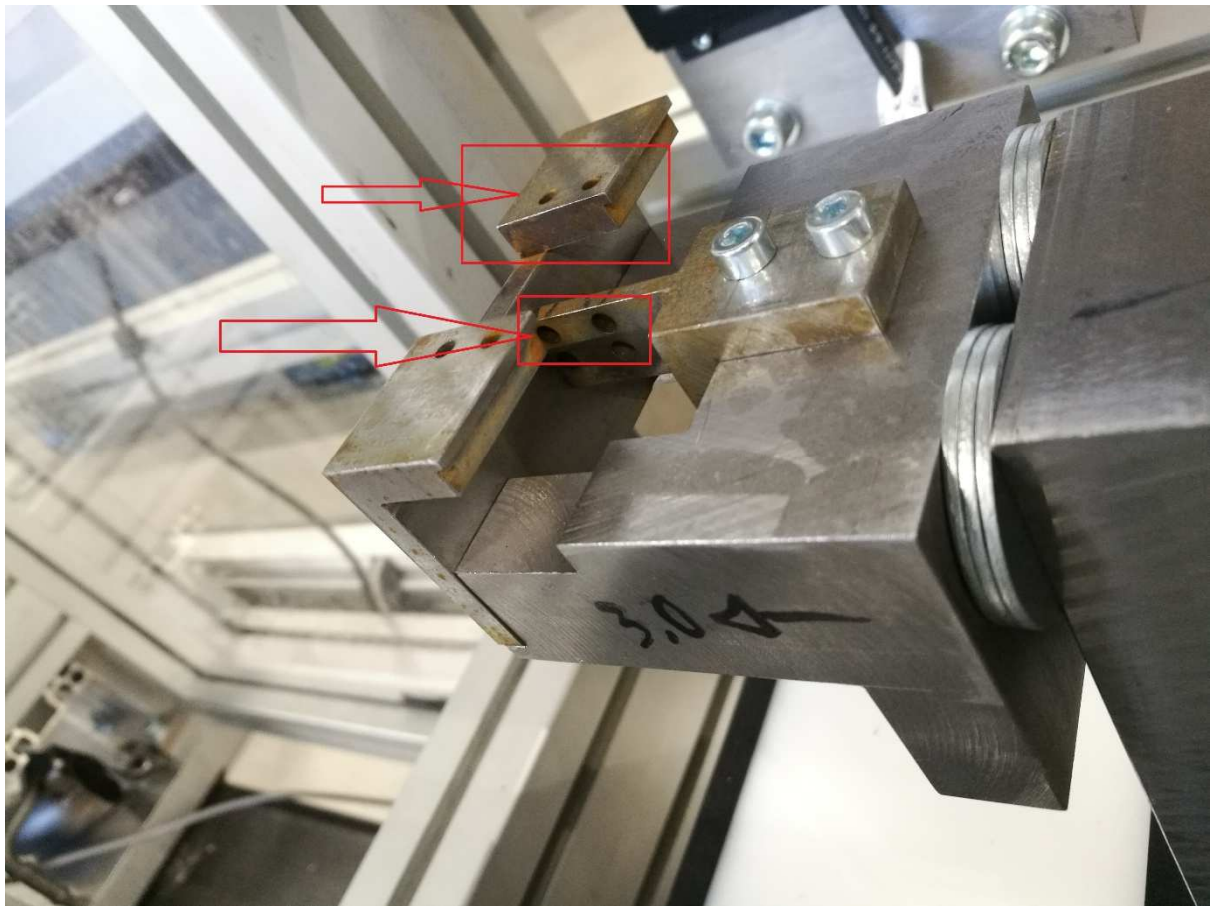


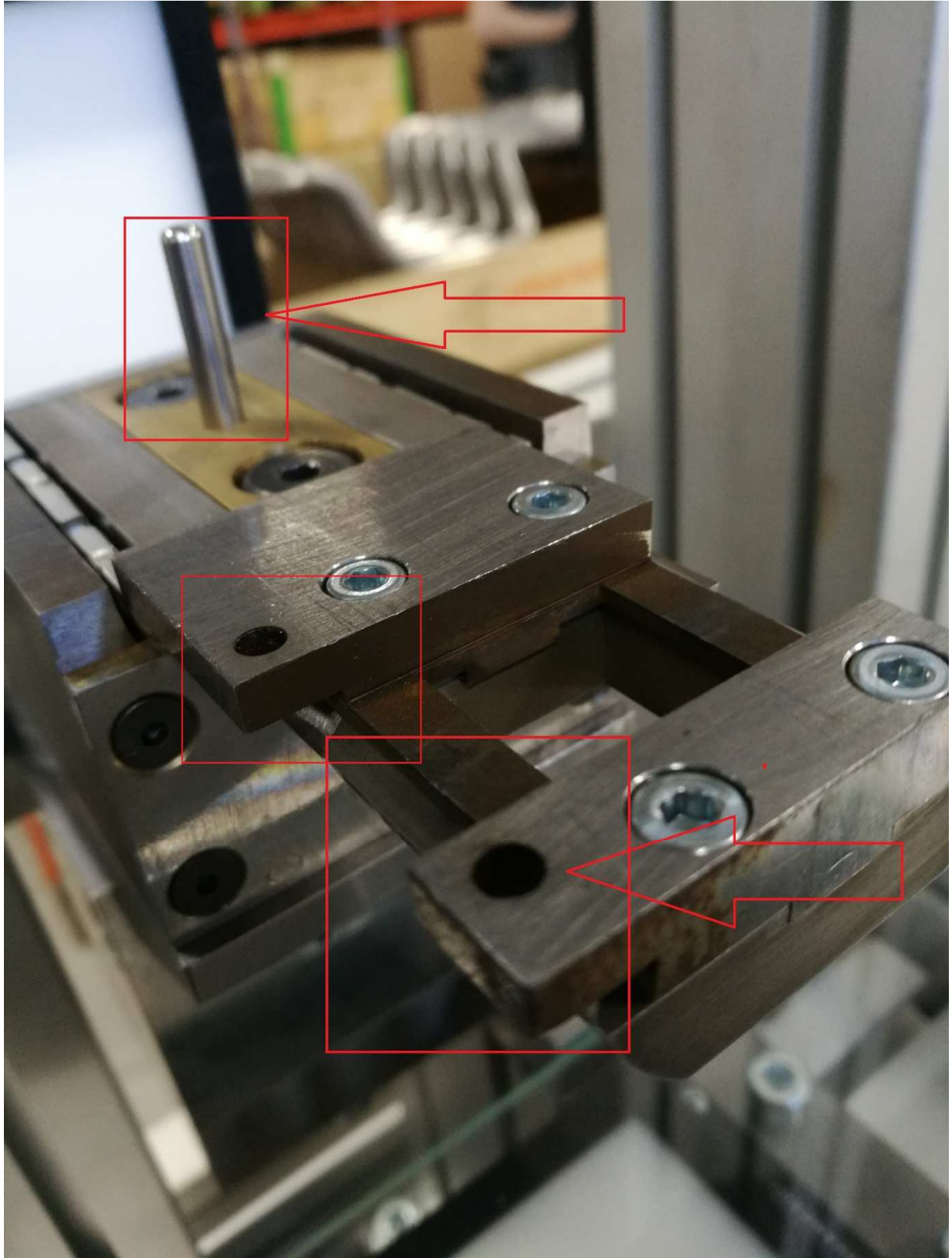
Mittatulkin kalibrointiohjeet

MIKÄLI KAMERAT OVAT LIIKKUNEET PALJON KALIBROINTIA EI VOI SUORITTAA NÄILLÄ OHJEILLA!

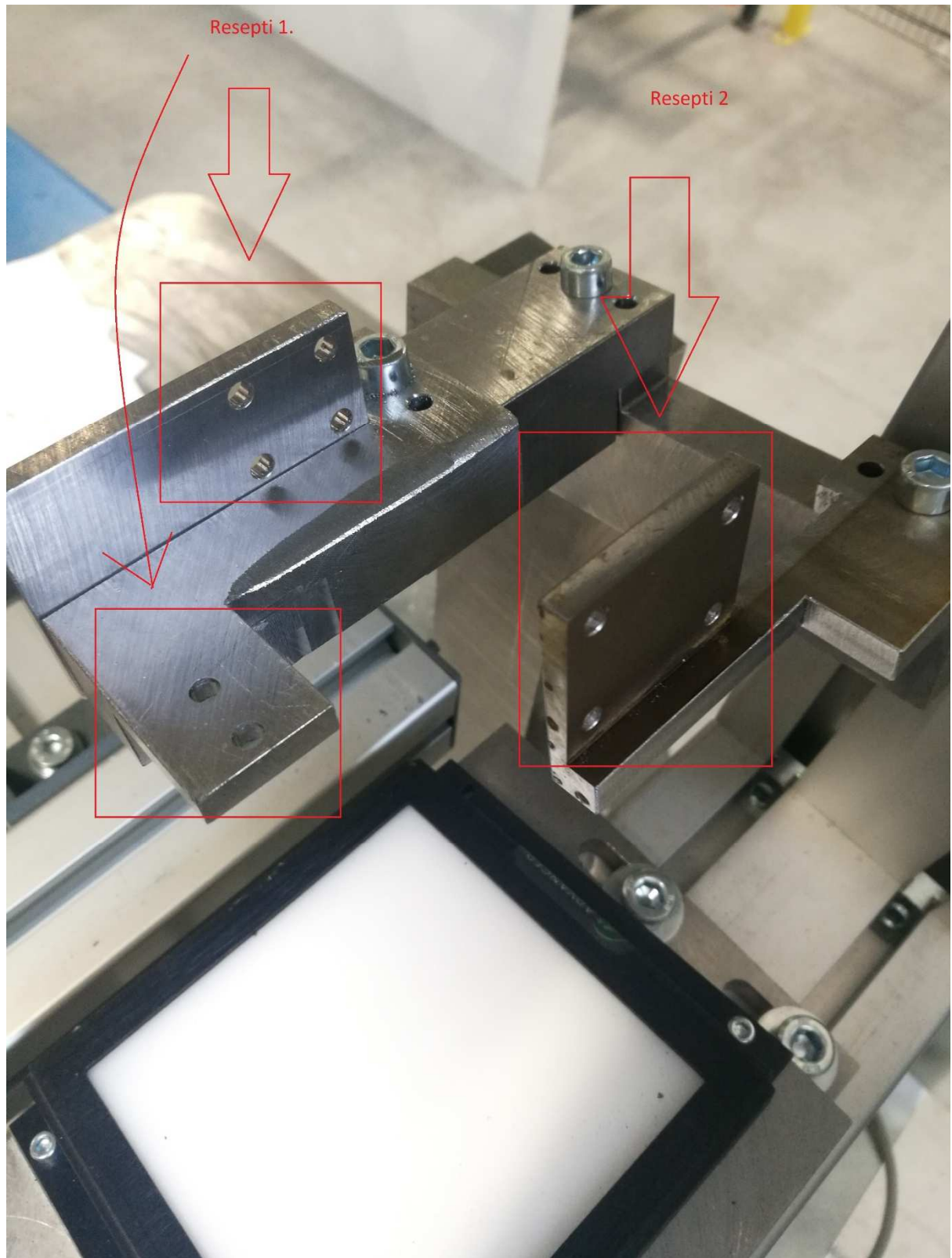
Mittaustulkin kalibroinnissa on otettava huomioon seuraavat asiat, jotta kalibrointi onnistuisi

1. Varmista, että kaikki referenssipisteet ovat kiinni mittauspöydässä

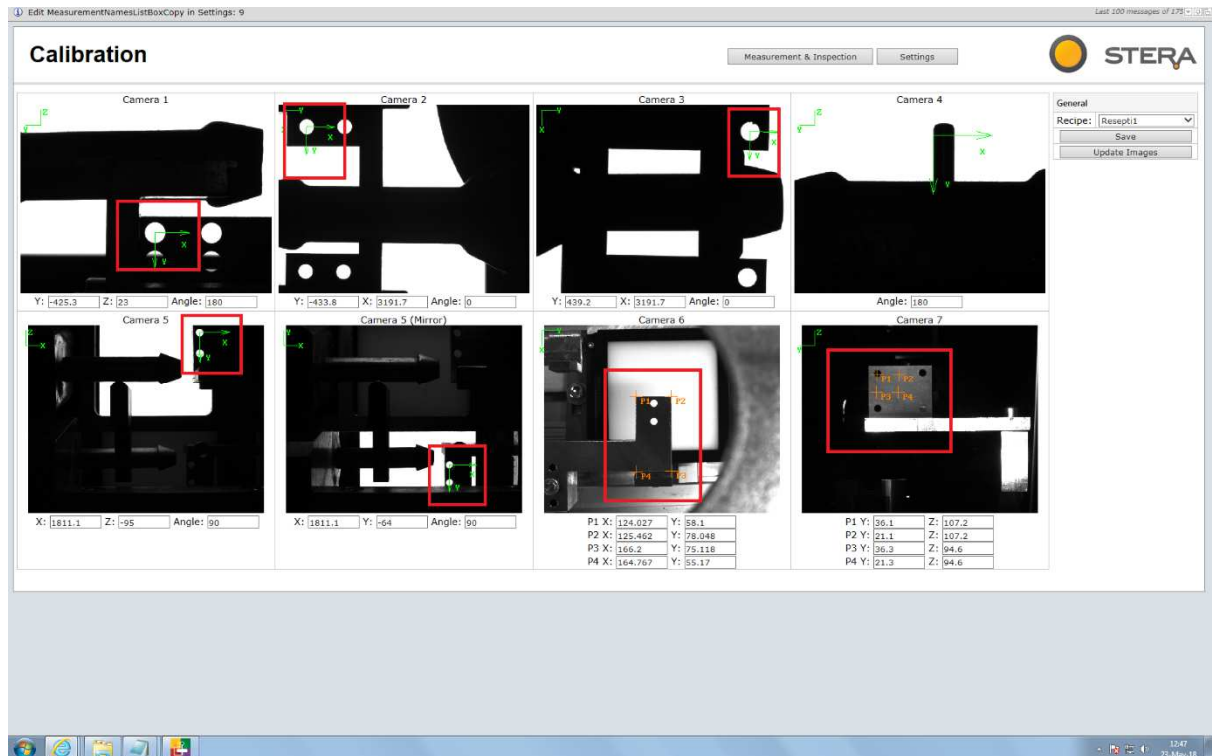








2. Varmista, että kaikki referenssipisteet näkyvät kameroiden kuvaussensorilla



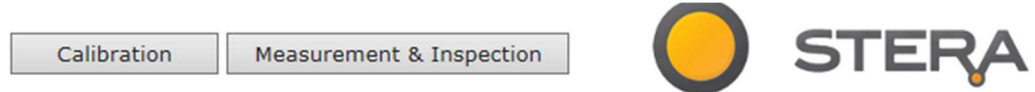
- **Huom! Kamera 7 ero Y ja Z arvoissa eri resepteillä!!! Muuten arvot samat**

- Selvitä referenssipisteiden paikka
 - 3D-skannaa ja selvitä referenssipisteiden paikka halutussa koordinaatistossa
 - Käytä aikaisempia kalibrointitietoja hyödyksi referenssipisteiden määrittämiseen, mikäli ne eivät ole liikkuneet ja muutoksia ei ole tehty!
- Avaa mittaustulkin operaattorikäyttöliittymä ja suuntaa calibration välilehdelle
- Calibration välilehdellä näkyy kameroiden ottama kuva referenssipisteestä. Mikäli sitä ei näy, klikkaa update images kohtaa. Referenssipisteen kohdalle pitäisi muodostua vihreä koordinaatisto jossa y-akselin positiivinen suunta on alaspäin ja x-akselin oikealle.
- Kameroiden alla näkyy koordinaatti akselit, johon syötetään referenssipisteen koordinaatit
- Koordinaattiakselit pitää vielä muistaa kääntää oikeaan suuntaan. Ellei kaikki arvot ole nollaantuneet niiden pitäisi olla valmiiksi käännettynä oikeisiin suuntiin.
- Tämän jälkeen suuntaa settings välilehdelle ja kirjoita nominal values luetteloon kuvattavien piirteiden nimellisarvot.



Tolerances		Nominal Values	
VTK_X	3.000	VTK_X	3207.000
VTK_Y	3.000	VTK_Y	-419.700
VTK_Z	3.000	VTK_Z	-35.000
VTK_OrientX	3.000	VTK_OrientX	0.000
VTK_OrientZ	3.000	VTK_OrientZ	0.000
OTK_X	3.000	OTK_X	3207.000
OTK_OrientX	3.000	OTK_OrientX	0.000
OTK_OrientZ	3.000	OTK_OrientZ	0.000
KK_X	3.000	KK_X	1774.400
KK_Y	3.000	KK_Y	-59.000
KK_Z	3.000	KK_Z	-113.000
KK_OrientY	3.000	KK_OrientY	0.000
KK_OrientZ	3.000	KK_OrientZ	0.000
EPK_X	3.000	EPK_X	178.800
EPK_Y	3.000	EPK_Y	73.700
EPK_Z	3.000	EPK_Z	88.500
EP_OrientX	3.000	EP_OrientX	0.000
EP_OrientZ	3.000	EP_OrientZ	0.000
C1_VT_REF_I_X	3.000	C1_VT_REF_I_X	0.000
C1_VT_REF_I_Y	3.000	C1_VT_REF_I_Y	0.000
C1_VT_REF_I_Orient	3.000	C1_VT_REF_I_Orient	0.000
C2_VT_REF_I_X	3.000	C2_VT_REF_I_X	0.000
C2_VT_REF_I_Y	3.000	C2_VT_REF_I_Y	0.000
C2_VT_REF_I_Orient	3.000	C2_VT_REF_I_Orient	0.000
C3_OT_REF_I_X	3.000	C3_OT_REF_I_X	0.000
C3_OT_REF_I_Y	3.000	C3_OT_REF_I_Y	0.000
C3_OT_REF_I_Orient	3.000	C3_OT_REF_I_Orient	0.000
C4_OT_REF_I_Orient	3.000	C4_OT_REF_I_Orient	0.000
C5_K_REF_I_X	3.000	C5_K_REF_I_X	0.000
C5_K_REF_I_Y	3.000	C5_K_REF_I_Y	0.000
C5_K_REF_I_Orient	3.000	C5_K_REF_I_Orient	0.000
C5_KM_REF_I_X	3.000	C5_KM_REF_I_X	0.000
C5_KM_REF_I_Y	3.000	C5_KM_REF_I_Y	0.000
C5_KM_REF_I_Orient	3.000	C5_KM_REF_I_Orient	0.000
Edit Selected Tolerance: 0		Edit Selected Value: 88.5	

Nominaaliarvot näkyvät kuvassa reseptin 1 tuotteille



Tolerances		Nominal Values	
VTK_X	3.000	VTK_X	3207.000
VTK_Y	3.000	VTK_Y	-419.700
VTK_Z	3.000	VTK_Z	-35.000
VTK_OrientX	3.000	VTK_OrientX	0.000
VTK_OrientZ	3.000	VTK_OrientZ	0.000
OTK_X	3.000	OTK_X	3207.000
OTK_OrientX	3.000	OTK_OrientX	-0.366
OTK_OrientZ	3.000	OTK_OrientZ	0.610
KK_X	3.000	KK_X	1774.400
KK_Y	3.000	KK_Y	-59.000
KK_Z	3.000	KK_Z	-113.000
KK_OrientY	3.000	KK_OrientY	-0.764
KK_OrientZ	3.000	KK_OrientZ	0.976
EPK_X	3.000	EPK_X	99.500
EPK_Y	3.000	EPK_Y	22.800
EPK_Z	3.000	EPK_Z	88.500
EP_OrientX	3.000	EP_OrientX	0.000
EP_OrientZ	3.000	EP_OrientZ	0.000
C1_VT_REF_I_X	3.000	C1_VT_REF_I_X	0.000
C1_VT_REF_I_Y	3.000	C1_VT_REF_I_Y	0.000
C1_VT_REF_I_Orient	3.000	C1_VT_REF_I_Orient	0.000
C2_VT_REF_I_X	3.000	C2_VT_REF_I_X	0.000
C2_VT_REF_I_Y	3.000	C2_VT_REF_I_Y	0.000
C2_VT_REF_I_Orient	3.000	C2_VT_REF_I_Orient	0.000
C3_OT_REF_I_X	3.000	C3_OT_REF_I_X	44.846
C3_OT_REF_I_Y	3.000	C3_OT_REF_I_Y	5.623
C3_OT_REF_I_Orient	3.000	C3_OT_REF_I_Orient	-1.060
C4_OT_REF_I_Orient	3.000	C4_OT_REF_I_Orient	-0.105
C5_K_REF_I_X	3.000	C5_K_REF_I_X	85.915
C5_K_REF_I_Y	3.000	C5_K_REF_I_Y	3.661
C5_K_REF_I_Orient	3.000	C5_K_REF_I_Orient	0.968
C5_KM_REF_I_X	3.000	C5_KM_REF_I_X	89.980
C5_KM_REF_I_Y	3.000	C5_KM_REF_I_Y	77.338
C5_KM_REF_I_Orient	3.000	C5_KM_REF_I_Orient	0.078

Edit Selected Tolerance:

Edit Selected Value:

Tässä kuvassa reseptin 2 tuotteille, ero löytyy EPK XYZ arvoista.

9. Tulkki on kalibroitu ja valmis käytettäväksi